

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

Titulación: INGENIERO TÉCNICO DE MINAS, ESPECIALIDAD EN RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y EXPLOSIVOS

PROYECTO FINAL DE CARRERA

Dpto. de Física Aplicada a los Recursos Naturales

**DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO
PARA APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY**

CARMEN PAREDES VELASCO

SEPTIEMBRE 2012

TITULACIÓN: INGENIERO TÉCNICO DE MINAS PLAN: 2002

Autorizo la presentación del proyecto

***Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales
en Paraguay***

Realizado por

Carmen Paredes Velasco

Dirigido por

Agustín García-Berrocal

Y

Juan Domaniczky

(Fundación PTI-Py ITAIPU-Binacional)

Firmado: **Prof. Agustín García-Berrocal**

Fecha: Septiembre 2012

ÍNDICE

RESUMEN	IX
ABSTRACT	IX
DOCUMENTO 1: Memoria	
CAPÍTULO 1: OBJETIVOS Y ALCANCE	2
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES	3
CAPÍTULO 3: DEFINICIONES	4
CAPÍTULO 4: INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	5
4.1 GENERALIDADES	5
4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS COLECTORES SOLARES	7
4.2.1 EN FUNCIÓN DEL APROVECHAMIENTO SOLAR	7
4.2.2 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL FLUIDO	7
4.2.3 EN FUNCIÓN DE LA RAZÓN DE CONCENTRACIÓN	8
4.3 COLECTOR CILÍNDRICO COMPUESTO. CPC	11
4.4 COLECTOR CILÍNDRICO PARABÓLICO. CPP	12
4.4.1 COMPONENTES	13
4.5 DISCO PARABÓLICO. DP	14
4.5.1 COMPONENTES	15
4.6 SISTEMA DE TORRE CENTRAL. STC	16
4.6.1 COMPONENTES	17
4.7 BALANCES ENERGÉTICOS	18
4.7.1 COLECTOR CILÍNDRICO PARABÓLICO	18
4.7.2 DISCO PARABÓLICO	23
4.7.3 SISTEMA DE TORRE CENTRAL	24
CAPÍTULO 5: ESTUDIO DEL RECURSO SOLAR PARA ALTO PARANÁ	29
5.1 INTRODUCCIÓN	29

5.2 PARÁMETROS UTILIZADOS	30
5.3 CÁLCULOS	32
CAPÍTULO 6: DIMENSIONADO DEL CANAL PARABÓLICO.....	40
6.1 CÁLCULO DEL LADO RECTO Y DE LOS PUNTOS MÁXIMOS.	
DETERMINACIÓN DEL FOCO	40
6.2 CÁLCULO DEL ÁNGULO DE ABERTURA α Y DE LA DISTANCIA ρ	42
6.3 CÁLCULO DEL DIÁMETRO MÍNIMO DEL TUBO RECEPTOR	43
6.4 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS GEOMÉTRICAS	44
CAPÍTULO 7: DIMENSIONADO DEL TUBO RECEPTOR	45
7.1 DEMANDA DEL SECADERO	45
7.2 TUBO RECEPTOR	45
7.3 CÁLCULO POTENCIA ÚTIL	46
7.3.1 CÁLCULO DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA	
Y DE CAUDALES MÁXICOS	47
7.3.2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PELÍCULA h	47
7.3.3 POTENCIAL ÚTIL	48
7.4 RENDIMIENTO GLOBAL DEL COLECTOR CILÍNDRICO PARABÓLICO	49
CAPÍTULO 8: SEGUIMIENTO SOLAR DEL COLECTOR CILÍNDRICO PARABÓLICO	50
8.1 CÁLCULO DEL MEDIODÍA SOLAR PARA ALTO PARANÁ	50
8.2 SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR	53
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y ALCANCE SOCIAL	56
CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	57
10.1 DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS	57
10.2 BIBLIOGRAFÍA	57

DOCUMENTO 2: Estudio Económico

ESTUDIO ECONÓMICO	2
-------------------------	---

DOCUMENTO 3: Anexos

A.1 FICHA TÉCNICA ACEITE TÉRMICO

A.2 EXTRACTO CATÁLOGO DIMENSIONES TUBOS DE ACERO

A.3 EXTRACTO CATÁLOGO DIMENSIONES PERFILES FIBRA DE VIDRIO

A.4 FICHA TÉCNICA PINTURA PYROMARC

A.5 CATÁLOGO ALUMNIO REFLECTANTE, MIRO-SUN

A.6 HOJA EXCEL POSICIÓN SOLAR

A.7 CROQUIS ESTRUCTURA COLECTOR EN 3D

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1 Cinturón solar	5
Figura 4-2 Esquema básico colector	6
Figura 4-3 Esquema básico de colector plano para agua	8
Figura 4-4 Esquema básico de colector plano para aire	9
Figura 4-5 Tubos de vacío	9
Figura 4-6 Esquema de un CPC	11
Figura 4-7 Esquema de un CCP	12
Figura 4-8 Esquema del seguimiento solar a un eje de un CCP.....	14
Figura 4-9 Esquema de un Disco Parabólico.....	16
Figura 4-10 Esquema de un STC	16
Figura 4-11 Disposiciones clásicas de colocación de los heliostatos	17
Figura 4-12 Balance energético de un CCP	22
Figura 4-13 Pérdidas por Factor Coseno	24
Figura 4-14 Pérdidas por Sombras	25
Figura 4-15 Pérdidas por Bloqueos	25
Figura 4-16 Balance energético de un STC en condiciones nominales	26
Figura 5-1 Espectro de Radiación Solar	29
Figura 5-2 Relaciones angulares terrestres	30
Figura 5-3 Esquema vector solar frente a vector normal a la superficie	31
Figura 5-4 Mapa del territorio de Alto Paraná. Paraguay	32
Figura 6-1 Perfil de la superficie captadora	40
Figura 6-2 Esquema de las relaciones y distancias dentro del perfil del CCP	42
Figura 6-3 Proyección del disco solar sobre el absorbedor	43
Figura 7-1 Perfil del tubo receptor	45
Figura 7-2 Disposición de los tubos a lo largo del foco	46

Figura 8-1 Incidencia de los rayos solares	50
Figura 8-2 Elevación solar según la estación del año	50
Figura 8-3 Croquis del sistema de movimiento del colector	53
Figura 8-4 Relación de tamaños y libertad de movimiento de los engranajes	54
Figura 8-5 Detalle de la graduación de las ruedas dentadas	54
Figura 9-1 Croquis del sistema general	56

ÍNDICE DE TABLAS

DOCUMENTO 1: Memoria

Tabla 4-1 Clasificación en función del factor de concentración	10
Tabla 5-1 declinación media mensual en grados sexagesimales y radianes	33
Tabla 5-2 Ángulo horario en grados sexagesimales y en radianes	33
Tabla 5-3 Cálculo del $\cos\theta$ y de I_0 para el mes de enero	34
Tabla 5-4 Cálculo del rendimiento óptico.....	35
Tabla 5-5 Cálculo de I_{eficaz} para el mes de enero	35
Tabla 5-6 Comparación de la Irradiación efectiva [W/m^2]	38
Tabla 6-1 Relación de focos con sus respectivas coordenadas de abertura máx.	41
Tabla 8-1 Elevación del Sol al mediodía solar para diciembre y junio	51
Tabla 8-2 Elevación del sol media mensual en su cénit	52

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5-1 Irradiación efectiva del mes de enero medida en W/m^2	36
Gráfica 5-2 Comparativa entre la radiación normal, la máxima y la efectiva para el mes de enero	36
Gráfica 5-3 Irradiación media por mes y por año	37
Gráfica 5-4 Comparación de las irradiaciones efectivas según diferentes orientaciones, Norte-Sur y Este-Oeste.....	38
Gráfica 6-1 Relación de focos con sus respectivas coordenadas de abertura máx.	41
Gráfica 8-1 Posición media mensual del Sol en su cénit	52

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a todas las personas que me han ayudado a realizar este proyecto. Pero especialmente a las Mineras por estar siempre ahí. A Carlitos Muñoz por todas esas ayudas de dibujo. Al Ingeniero Álvaro Maioli por darme luz con el proyecto. Al Ingeniero Koki Duré por arreglarme tantas veces el ordenador. Y a mi madre por corregirme el texto.

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es el diseño de un concentrador solar cilíndrico parabólico para calentamiento de aceite, que posteriormente calentará aire mediante un intercambiador de calor. El aire se canalizará para deshidratar alimentos.

Se estudian los diferentes tipos de colectores solares y el recurso solar de la zona. Además se realiza el diseño estructural del captador y del seguimiento solar de éste, puesto que el destino final del colector es específico. También se analizan las pérdidas y se dota al colector de un rendimiento global.

El proyecto se realiza para el Departamento de Alto Paraná, en Paraguay. Por ello está englobado en un marco de innovación y de cooperación al desarrollo propio del país, con el completo apoyo de ITAIPU-Binacional.

ABSTRACT

The aim of this project is to design a cylindrical parabolic solar concentrator for heating oil, which subsequently will heat air through a heat exchanger. This air will be channeled to dehydrate food.

Different types of solar collectors are studied, as well as the solar resources in the area. Since the final objective of the system is very specific, the structure and solar tracking of the collector are also designed. Thermal and optical losses are analyzed, and a global output is provided.

The project is carried out for the department of Alto Paraná at Paraguay. Thereby, it's encompassed within a framework of innovation and development cooperation in the country itself, with the full support of ITAIPU-Binacional.

DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO PARA
APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA

Capítulo 1: Objetivos y alcance

En el marco de la agricultura rural paraguaya, caracterizada por la falta de recursos, eficiencia y oportunidades de aprovechamiento y comercio agrícola. El Departamento de Nuevas Tecnologías del Parque Tecnológico Itaipu pretende aportar y poner en práctica los conocimientos necesarios para realizar un proyecto de innovación en el sector agrícola rural.

El principal problema en este sector reside en que gran cantidad de alimentos producidos por las familias de agricultores no salen a la venta, sino que terminan por quedarse almacenados y pudriéndose. La realidad de un país con grandes contrastes económicos y con un nivel de pobreza elevado (el 18 % de la población vive en pobreza extrema con 52 € al mes) hace inaceptable que los alimentos se desaprovechen de forma tan indiscriminada.

Por ello, con el objetivo de no desperdiciar los excedentes de las cosechas, y basándose en el principio de que los alimentos desecados duran una media de 2 años, desde el CITE (Centro de Investigación de Tecnologías Energéticas) se propone un modelo completamente renovable de secadero de aire caliente para frutas y hortalizas, que será calentado mediante un colector solar cilindro-parabólico.

Este proyecto se centra exclusivamente en la parte de captación y generación de calor, se pretende valorar las diferentes posibilidades que ofrece cada sistema de captación solar, y posteriormente se realizará el diseño óptico, térmico, estructural y de seguimiento solar del colector solar.

Capítulo 2: Antecedentes

Paraguay tiene una economía fuerte y medianamente diversificada. Entre 1970 y el 2009 el país tuvo el más alto crecimiento de América Latina, con una tasa del 7,2 % anual. Este crecimiento se debió principalmente a la construcción de dos hidroeléctricas que lograron potenciar el crecimiento de la industria y a un importante y potencial desarrollo de la actividad agrícola y ganadera, lo que conlleva a que la economía del país dependa directamente del sector agropecuario.

En este sector encuentran empleo el 50% de la fuerza laboral del país. Entre productos primarios y procesados, genera cerca del 90% del valor de las exportaciones del país y produce casi la totalidad de los alimentos básicos consumidos por su población.

El sector presenta dos problemas principales, por un lado el fuerte rasgo estacional que tienen los productos de importación. Y por el otro la dualidad rural que existe en Paraguay, existiendo la Agricultura Familiar y la Agricultura Empresarial. La primera opera en una reducida extensión de tierra, en suelos marginales de baja calidad y con persistencia de tecnologías tradicionales de producción; mientras que la segunda está caracterizada por grandes extensiones de terreno, con un uso intensivo de los insumos productivos, una alta inversión de capital, así como una alta mecanización. La coexistencia de ambas realidades no hace sino agrandar las diferencias sociales que existen en el país.

La población rural más pobre, de elevada tasa crecimiento, tiene un limitado acceso a servicios básicos, que unido a la inexistencia de fuentes de empleo alternativas, desemboca en el desempleo, en los procesos migratorios hacia los centros urbanos y en la expansión de la pobreza y desigualdad. Además no existe una adecuada infraestructura física –caminos, instalaciones de riego, manejo de pos-cosecha, etc.- que permita desarrollar una actividad sostenible.

Se hace evidente la necesidad de revalorizar la Agricultura Familiar como alternativa válida para asegurar el arraigo de la población rural en sus comunidades. Actualmente, el Gobierno de Paraguay, a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería, está llevando a cabo una serie de proyectos que tienen como objetivo principal el desarrollo rural del sector agropecuario, entre los que destaca el “Proyecto de la Agricultura Familiar” y “Programa de Fomento de la Producción de Alimentos por la Agricultura Familiar

Capítulo 3: Definiciones

foco lambertiano: Se denomina a la superficie emisora cuya radiancia no varía en función del ángulo de observación. Un trozo de papel blanco grueso, si es iluminado por luz solar difusa, representa una buena aproximación a un foco lambertiano, ya que el brillo del papel percibido visualmente no varía con el ángulo de observación.

radiación solar directa: Es la radiación solar recibida en la superficie terrestre sin que sufra ningún cambio de dirección en su recorrido.

radiación solar difusa: Es la componente de la radiación solar recibida en la superficie después de que los procesos de reflexión y difusión de la atmósfera modifiquen su recorrido.

radiación solar de albedo: Es la procedente de la reflexión del suelo.

Capítulo 4: Instalaciones de energía solar térmica

4.1 Generalidades

El objetivo esencial de cualquier sistema térmico solar es captar la energía que proviene del sol para transformarla y transportarla de la manera más económica y eficaz posible. Las aplicaciones del aprovechamiento solar pueden ser directas, en forma de calor, o bien indirectas, utilizando este calor para obtener trabajo mecánico en un eje y finalmente electricidad.

Entre las tecnologías existentes, hay tres que destacan por su grado de desarrollo: los sistemas de colectores cilindro parabólicos (CCP), los sistemas de receptor central (SRC) o sistemas de torre central (STC), y los discos parabólicos (DP) o más propiamente, paraboloides de revolución. También existen los sistemas de concentradores parabólicos compuestos (CPC), que a pesar de no estar ampliamente desarrollados en cuanto a tecnología se refiere, merecen una mención. Los primeros y los últimos concentran la radiación solar en un eje (dos dimensiones), mientras que los sistemas de torre y los discos parabólicos lo hacen en un punto (tres dimensiones), pudiendo alcanzar por ello mayores relaciones de concentración.

Aunque los campos de aplicación de los Sistemas Termosolares de Concentración (CSTS) son diversos, es en los campos de generación de electricidad, vapor de proceso o de ambos simultáneamente, donde estos sistemas han alcanzado su mayor grado de desarrollo, dando lugar a Centrales Energéticas Termosolares (CETS). Las CETS son, entre los sistemas basados en el aprovechamiento de las energías renovables, uno de los de mayor potencial de contribución a la satisfacción de la demanda energética, especialmente en las regiones situadas en el llamado “cinturón solar”, que son aquellas que se encuentran entre las latitudes 35º norte y 35º sur. Además, constituyen el medio más económico para la generación de electricidad a partir de la energía solar.

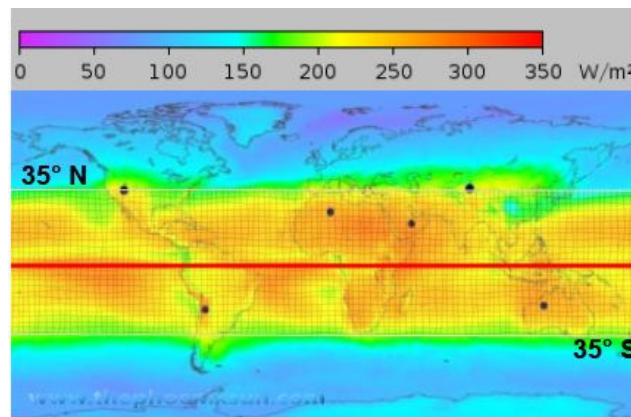


Figura 4-1 Cinturón Solar (Fuente: The Phoenix Sun)

Estos sistemas aprovechan la radiación solar directa, y en algunos casos la radiación difusa proveniente del Sol. El primer elemento que se encuentra la radiación, y que permite absorber la energía incidente es el “*captador solar*”, el cual puede ser entendido como un tipo particular de intercambiador de calor que intercepta la energía radiante del Sol, la transforma en energía térmica y la transfiere a un fluido circulante por su interior que actúa como “*fluido portador*” de la energía térmica.

De forma genérica, un captador solar está constituido en esencia por un absorbedor que recoge la energía solar, una cubierta transparente y un tubo o tubos por los que circula el fluido termo-portador.

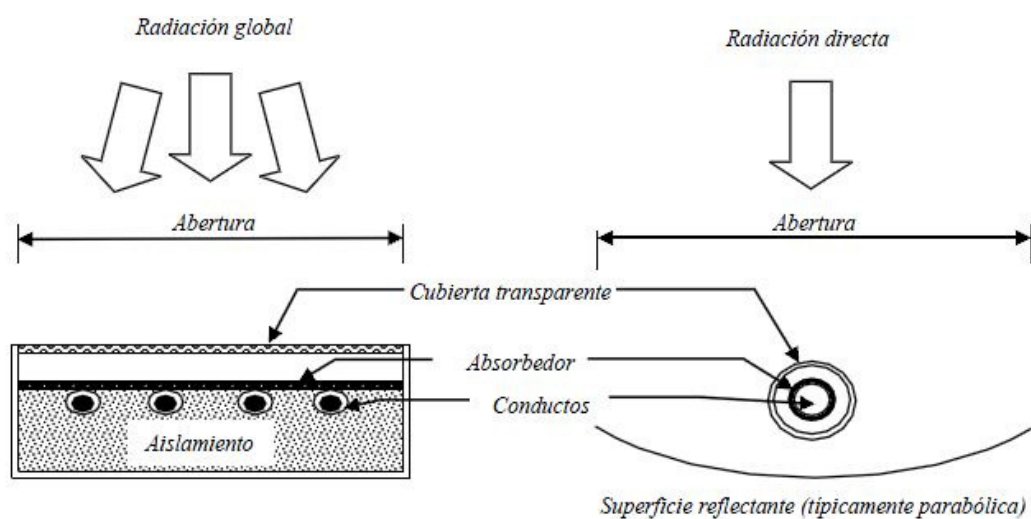


Figura 4-2 Esquema básico de colector

El absorbedor es el elemento más importante del sistema captador, pues es el encargado de recibir y absorber primero la radiación solar y transformarla después en radiación térmica, de forma que por conducción esta energía se transfiera al fluido circulante. Por otro lado, la cubierta transparente o semitransparente evita en gran medida la emisión calorífica por convección desde al absorbedor al ambiente, así como lo protege de los agentes externos.

4.2 Clasificación de los colectores solares

Existen muchos tipos de colectores solares térmicos que, aunque en base tengan el mismo principio, tienen características diferentes. Por ello se pueden clasificar de muchas formas.

4.2.1 En función del aprovechamiento solar

De forma muy general, se puede realizar una primera clasificación de los colectores que pueden funcionar con energía solar global, que son en consecuencia “*estacionarios*”, y los colectores que únicamente funcionan con radiación solar directa, y que necesitan un sistema de seguimiento del recorrido del Sol a lo largo del día. A su vez, estos últimos colectores “*seguidores*” se subdividen en los que disponen de un único grado de libertad (absorbedores tubulares) y los que disponen de dos grados de libertad (absorbedores puntuales).

4.2.2 En función de la temperatura del fluido

Esta división tiene en cuenta las temperaturas a las que puede llegar el fluido transportador, y en consecuencia, las posibles aplicaciones que pueden aprovecharse de dichas temperaturas. Además, el tipo de fluido que se utilice determina el rango de temperaturas de operación del campo solar, lo que acaba por influir en la obtención del rendimiento del ciclo de potencia.

- **Temperatura baja (30°C – 100°C).** Este rango se consigue con colectores planos. Entre sus aplicaciones están las de calentamiento de aguas sanitarias y de piscinas, calefacción, secado, desalinización y destilación. Estos sistemas son en general híbridos ya que casi siempre son usados con apoyo de otros tipos de energía como la eléctrica, pues que la energía solar no siempre está disponible, lo que puede ocasionar un paro en el servicio que se ofrece.
- **Temperatura media (100°C – 400°C).** Se alcanzan con concentradores lineales o esféricos y se usan en procesos industriales (Industria láctea, procesamiento de residuos, etc.), así como en refrigeración, en procesos químicos (Producción de acetona) y de desalinización.
- **Temperatura alta (400°C – 3000°C).** Estas altas temperaturas se alcanzan gracias a los concentradores puntuales como los de discos parabólicos y los campos de heliostatos o centrales de torre. Se utilizan en centrales solares fototérmicas, fotovoltaicas y fotoquímicas, también en hornos solares para tratamientos térmicos e investigación de materiales.

4.2.3 En función de la razón de concentración

Para esta clasificación, hay que introducir un nuevo parámetro, el factor o razón de concentración, denotado por la letra “C”.

Antes de definirlo, hay que tener claros los dos elementos básicos dentro del colector, el concentrador y el receptor. El primero constituye el sistema óptico, y es la parte del colector que dirige la radiación sobre el receptor. Éste es el elemento del sistema donde la radiación es absorbida y se convierte en otro tipo de energía.

Por tanto, la razón de concentración superficial se define como el cociente del área de apertura del concentrador entre el área de absorción del receptor:

$$C = \frac{\text{Área de apertura}}{\text{Área de absorción}}$$

4.2.3.1 Colectores no concentradores

Para las aplicaciones de baja temperatura se emplean siempre colectores solares sin concentración, donde $C=1$. Esto se debe a que la superficies de apertura y absorción son iguales, es decir, todos los elementos del subsistema solar tiene el mismo emplazamiento físico.

Este tipo de captadores no concentradores son, sin duda, los más utilizados en aplicaciones térmicas domésticas. Ya que su coste y régimen de temperaturas permiten su adaptación a las necesidades del usuario de a pie.

A su vez, se puede hacer una distinción dentro de los colectores no concentradores, atendiendo al fluido que circula por los tubos:

a) Captador plano para agua. En el ámbito doméstico y de bajas temperaturas, es el más utilizado para, por ejemplo, calentamiento de agua sanitaria.

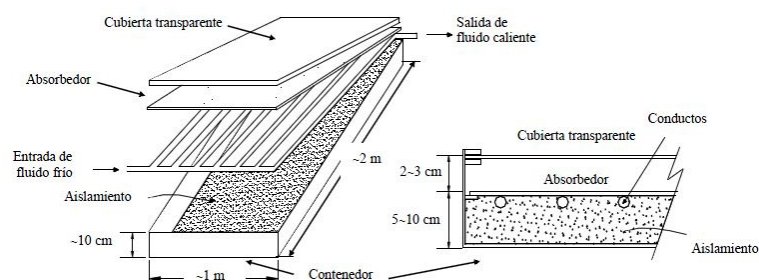


Figura 4-3 Esquema básico de colector plano para agua

b) Captador plano de aire. Tienen una respuesta rápida a la radiación, y no presentan problemas de congelación ni de corrosión. Por lo que el proceso constructivo se simplifica, pues la estanqueidad del sistema para evitar cualquier fuga de fluido no supone una exigencia. Aún así, el aire tiene una clara desventaja en comparación con el agua, pues el primero tiene una capacidad calorífica cuatro veces menor a la del agua.

Una de las aplicaciones más usuales en este tipo de captadores es la de su integración en las fachadas y techos de los edificios con objetivos energéticos.

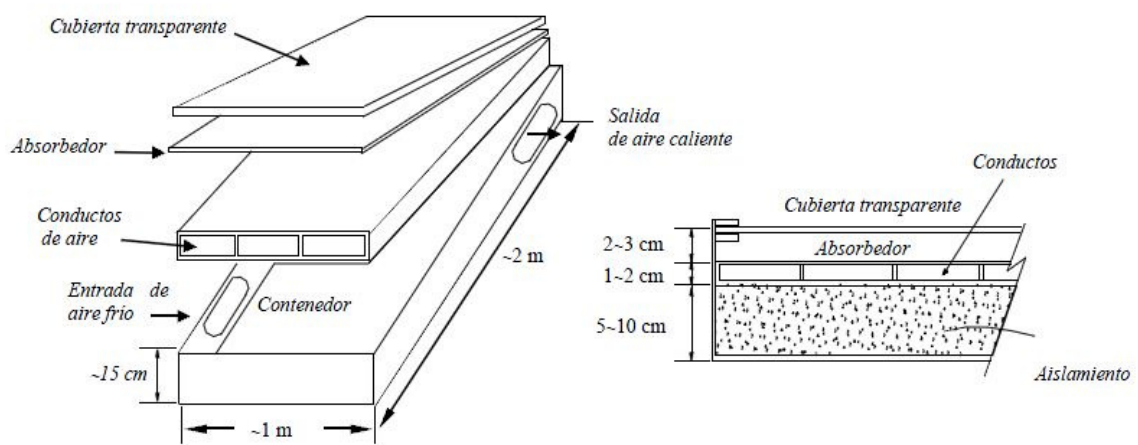


Figura 4-4 Esquema básico de colector plano para aire

c) Tubos de vacío. Aprovechan el vacío creado en su interior para eliminar las pérdidas por convección y aumentar así la temperatura del fluido portador de calor con menos necesidad de superficie de captación efectiva. Estos captadores se utilizan de forma individual, en grupos, en haces o en sistemas de concentración lineal.



Figura 4-5 Tubos de vacío

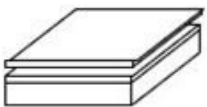



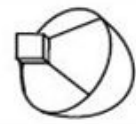

4.2.3.2 Colectores concentradores

Para poder alcanzar mayores temperaturas en un colector, es necesario modificar el sistema de captación, de forma que se aumente la concentración. Esto se consigue en los colectores concentradores, que se pueden clasificar según dos características básicas: la geometría del absorbedor (concentración lineal o puntual) y la forma de la concentración (reflexión o refracción).

Aún teniendo en cuenta esta primera clasificación, todos ellos pueden concentrar la energía solar en un punto específico para conseguir temperaturas muy elevadas que pueden cubrir las aplicaciones industriales, tales como generación de electricidad.

A modo de resumen, se adjunta una tabla donde se muestran los diferentes colectores en función de la razón de concentración, se añaden además, el rango de temperaturas a las que se puede llegar:

Tabla 4-1 Clasificación en función del factor de concentración

			Nombre	Croquis	Razón de concentración "C"	Rango Temperatura alcanzada [Cº]
Seguidores	Estacionario	Absorbedor plano	Capatador plano de agua/aire		$C \leq 1$	$30 < T^a < 250$
			Tubos de vacío		$C \leq 1$	$50 < T^a < 200$
	Seguimiento a un eje	Absorbedores tubulares	Colector Parabólico Compuesto CPC		$1 < C < 15$	$70 < T^a < 300$
			Colector Cilíndrico Parabólico CCP		$15 < C < 40$	$70 < T^a < 350$
	Seguimiento a dos ejes	Absorbedores puntuales	Disco Parabólico		$100 < C < 1000$	$70 < T^a < 1500$
			Torre Central		$100 < C < 1500$	$150 < T^a < 1500$

4.3 Colector Parabólico Compuesto. CPC

Esencialmente consta de reflectores parabólicos que redirigen la radiación desde la apertura hasta el absorbente, como si se tratase de un embudo, es decir, todos los rayos incidentes son dirigidos al absorbedor.

En la figura 4-6, las mitades derecha e izquierda pertenecen a diferentes parábolas. El eje derecho de la parábola forma un ángulo θ_a con el plano medio del colector y el eje izquierdo forma un ángulo $-\theta_a$ con dicho plano, y sus focos son A y B respectivamente. En los puntos C y D la inclinación es paralela al plano medio del colector.

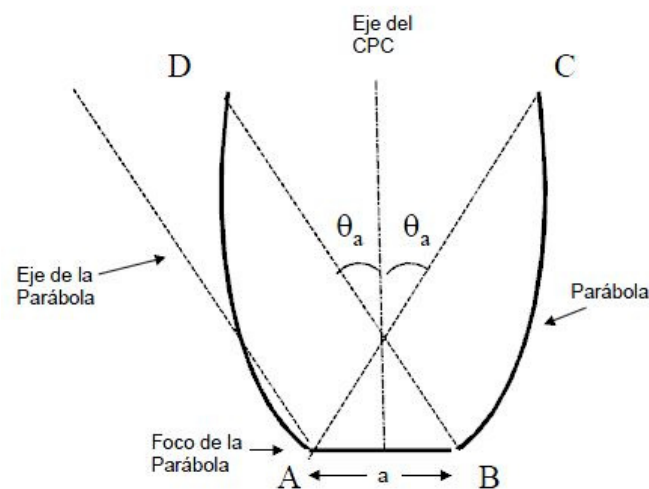


Figura 4-6 Esquema de un CPC

Una de las características angulares de este diseño, es que todos los rayos que inciden sobre la apertura con ángulo de aceptación angular, que sean $|\theta| > \theta_a$ serán reflejados entre las dos superficies y expulsados al exterior. Esta propiedad implica que la concentración (si se asume que la reflectividad es igual a 1) es igual al límite termodinámico.

Las ventajas que estos diseños ofrecen se pueden resumir en las siguientes:

- La concentración es independiente de la forma del absorbente, sino que depende del perímetro y del ángulo de aceptación de éste.
- La restricción de los ángulos de salida del receptor. Es importante porque algunos receptores tienen poca absorbencia a ángulos de incidencia altos.
- Permiten la orientación asimétrica de la fuente y la apertura (para diseños de colectores que presentan variaciones estacionales). Aunque también pueden ser no seguidores

- Aprovechan la radiación difusa.
- Pueden ser usados para reconcentradores o concentradores secundarios con altos rendimientos.

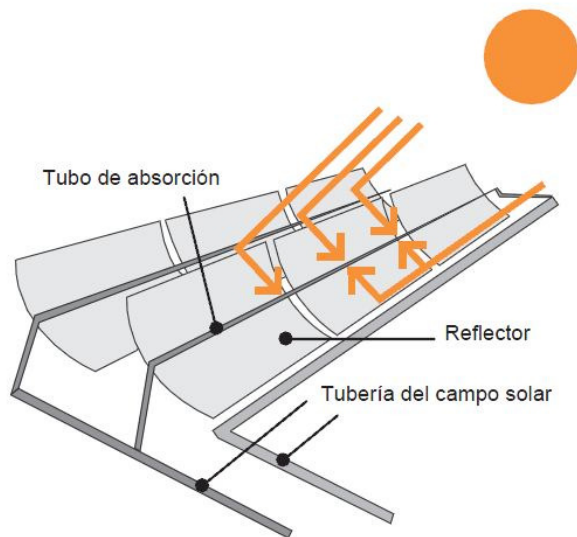
Con todo ello, el uso de este tipo de colector no es muy común, pues no se ha investigado lo suficiente.

Para este proyecto queda definitivamente descartado.

4.4 Colector Cilíndrico Parabólico. CCP

Existen muchos campos solares que utilizan esta tecnología como medio de generación de energía térmica y eléctrica, ejemplos de ellos son la Plataforma Solar de Almería Andasol 1 y Andasol 2. Es por ello que esta tecnología está muy avanzada, la información y exactitud es amplia y detallada.

Los CCP's son captadores concentradores solares de foco lineal, que transforman la radiación solar directa en energía térmica, gracias al calentamiento de un fluido de trabajo que puede llegar hasta los 400 °C en casos muy favorables. Por tanto, están englobados dentro de los colectores solares de media temperatura.



Fuente: Greenpeace

Figura 4-7 Esquema de un CCP

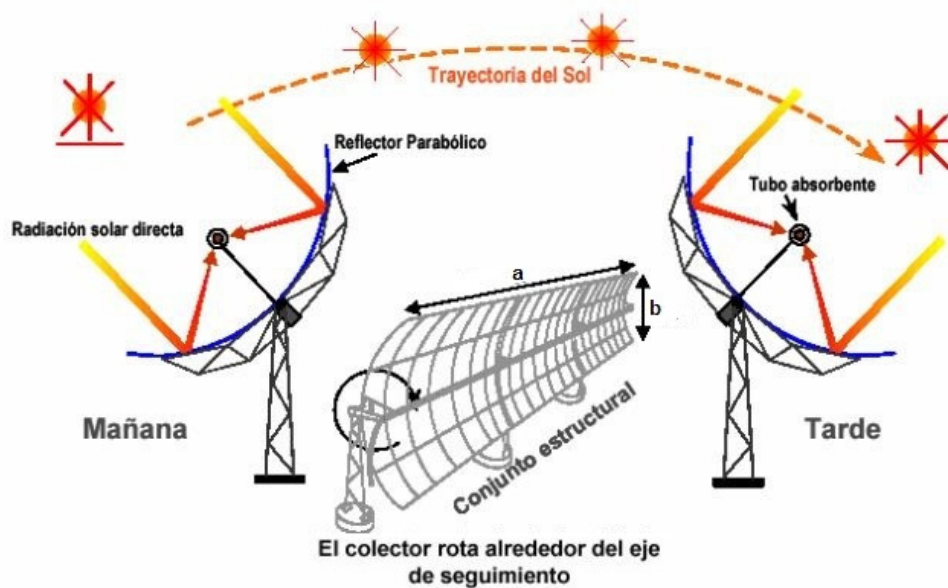
4.4.1 Componentes

En la figura 4-9 se pueden ver los elementos principales del conjunto del colector, de forma más detallada se definen del siguiente modo:

- *El Reflector Cilíndrico Parabólico:* su misión es la de reflejar y concentrar sobre el Receptor la radiación solar directa incidente sobre la superficie. A grandes rasgos es un espejo curvo que forma en una de sus dimensiones una parábola, de forma que concentra sobre su línea focal toda la radiación reflejada. Entre los materiales usados para la reflexión, encontramos plásticos recubiertos con películas de plata o aluminio, chapas metálicas, o el más usado: vidrios sobre los que se depositan una capa de plata junto con un protector de base de cobre y pintura epoxi.
- *El tubo de absorción o Receptor:* es un elemento fundamental en un CCP, pues el rendimiento global del colector depende en gran parte de la calidad termodinámica del absorbente. Puede constar de un solo tubo o de dos tubos concéntricos. En este último caso, el tubo interior es metálico de elevada absorvidad (>90%) y de baja emisividad (<30%) en el espectro infrarrojo, lo que se traduce en un elevado rendimiento térmico. Por otro lado, el tubo exterior es de cristal y tiene el objetivo de reducir las pérdidas térmicas por convección del tubo metálico, así como de protegerlo frente a las condiciones meteorológicas adversas. Ambos tubos suelen llevar un tratamiento para aumentar la trasmisividad de la radiación solar, lo que causa un aumento del rendimiento óptico del colector.
- *El Sistema de Seguimiento Solar:* El seguimiento del Sol se hace con el objetivo de aprovechar la mayor parte de horas posibles de luz, de forma que la radiación solar llegue lo más perpendicularmente posible al colector y se mantengan en el foco lineal continuamente. Los CCP's pueden tener seguimiento a dos ejes o a un único eje. Normalmente el seguimiento se realiza a un eje pues mecánicamente es más sencillo, esto implica menos costos y menores pérdidas térmicas por no haber tuberías pasivas.

La orientación puede ser Norte-Sur o Este-Oeste.

Los mecanismos de accionamiento que mueven al colector pueden ser eléctricos (apropiado para equipos pequeños), hidráulicos (para lazos de colectores) y mecánicos (reloj de pesas...)



Fuente: Greenpeace

Figura 4-8 Esquema del seguimiento solar a un eje de un CCP

Este tipo de colectores tienen una eficiencia termodinámica muy buena en comparación con otros, y es por ello por lo que se usan en algunos procesos industriales como en la producción de acetona, el procesado de residuos, en la industria láctea, así como en la producción de electricidad, donde existe gran madurez en investigación.

Aún así, una de las mayores desventajas de este diseño de colector es que sólo hace uso de la radiación directa, siendo incapaz de captar la radiación difusa. Por culpa de ello los costes se incrementan, pues es necesario un instalar un sistema de seguimiento solar que necesita un aporte secundario de energía.

4.5 Disco Parabólico. DP

Los sistemas de discos parabólicos se componen básicamente en un reflector o en un conjunto de de reflectores, que tienen forma de paraboloide de revolución. Además poseen un receptor situado en el foco puntual de dicho paraboloide, y de un sistema de generación eléctrica compacto (un motor o una turbina más un alternador). Por lo general, receptor y sistema de generación suelen formar parte de un mismo conjunto.

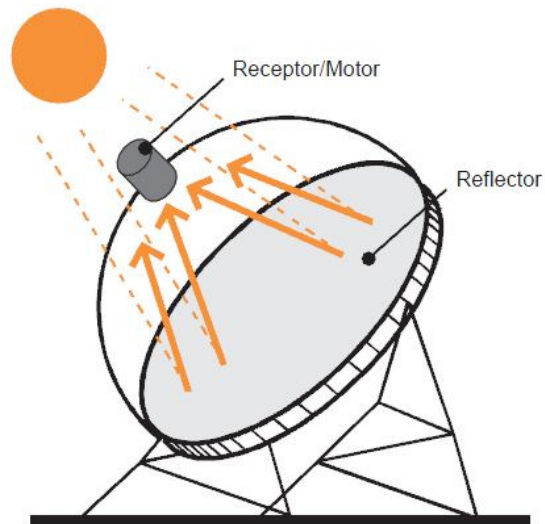
El principio de funcionamiento es el mismo que para los CCP's, es decir, la radiación concentrada por el paraboloide incide sobre el receptor, donde se convierte energía térmica (pudiendo alcanzar los 1500 °C) que permite generar electricidad.

4.5.1 Componentes

Los elementos principales del colector Disco Parabólico son los siguientes:

- Concentrador: La forma de la superficie reflexiva en este tipo de sistema, es la de un paraboloide de revolución, cuyo tamaño depende de la potencia nominal y de la energía que se desea generar en un determinado tiempo y bajo unas condiciones de radiación determinadas.
- Receptor: Es un sistema de discos parabólicos que tienen dos funciones fundamentales, por un lado la de absorber la radiación solar reflejada por el concentrador, y por el otro transferir la energía absorbida al fluido de trabajo de la máquina asociada. Hasta la fecha existen dos tipos de reflectores: tubos directamente iluminados por la reflexión de los rayos, y receptores de reflujo.
- Sistema de Seguimiento: Con objeto de seguir la posición del sol en todo momento, los discos parabólicos realizan un seguimiento de éste en dos ejes. Se realiza según dos tipos de montaje:
 - Seguimiento en acimut-elevación, en el que el movimiento se realiza según dos ejes, el vertical y el horizontal.
 - Seguimiento polar, en el que el movimiento en un eje es muy lento, pues solo se debe seguir las variaciones estacionales del sol, y el movimiento en el otro eje es a velocidad constante.

Actualmente, el uso de discos parabólicos para generar electricidad se encuentra en fase de desarrollo en algunas plantas experimentales como la de Planta Solar de Almería, pero la falta de fiabilidad y su elevado coste, constituyen los principales obstáculos para su introducción real en la generación eléctrica. En cambio, atendiendo a la misma forma estructural y con el mismo principio de reflexión en un foco puntual del paraboloide de revolución, es muy común encontrar, a nivel particular, cocinas solares

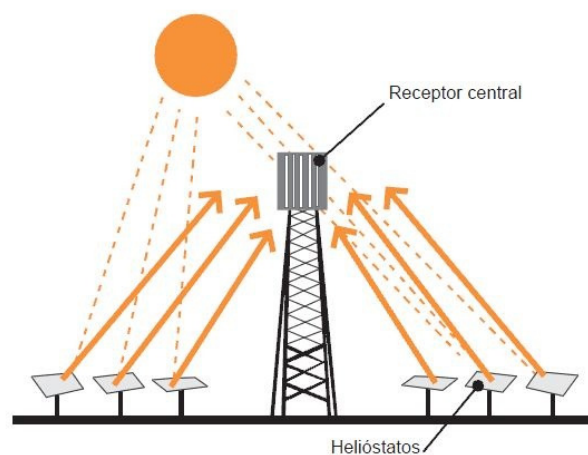


Fuente: Greenpeace

Figura 4-9 Esquema de un Disco Parabólico

4.6 Sistemas de Torre Central. STC

Este sistema se caracteriza porque el conjunto colector está compuesto por un grupo, más o menos numeroso, de concentradores planos individuales llamados heliostatos, los cuales dirigen la radiación solar concentrada hacia un receptor central situado en lo alto de una torre. Por tanto, la concentración de la radiación se produce en tres dimensiones, por lo que el valor de la razón de concentración es muy elevado, así como las temperaturas que se alcanzan, pudiendo llegar éstas a los 1500 °C.



Fuente: Greenpeace

Figura 4-10 Esquema de un STC

4.6.1 Componentes

A parte de los componentes principales del sistema, que se detallan más adelante, para un correcto funcionamiento del sistema, se requieren una serie de equipos y sistemas auxiliares, como el sistema de caracterización de imágenes, blancos lambertianos para evaluación de imágenes, ajustes de offsets, etc.

- El sistema colector: El heliostato es, junto con el receptor, uno de los componentes que representa mayor importancia dentro del sistema, llegando a suponer hasta un 60 % del coste total de la parte solar.

Su función es la de captar la radiación solar y redirigirla hacia el receptor. Está compuesto básicamente por una superficie reflectante -espejos de vidrio como los de los CCP's-, además de una estructura soporte, mecanismos de movimiento y un sistema de control.

En cuanto al tamaño, existen de varias dimensiones, desde 40 ó 50 m², hasta su evolución a los 150 m². Aunque actualmente se tiende a los heliostatos más pequeños, pues suponen una simplificación y abaratamiento en los procesos de transporte, instalación y puesta en servicio.

El campo de heliostatos en relación al receptor está condicionado en gran parte por la orografía del terreno, por el tamaño de la planta y por la disposición del receptor. Las dos formas clásicas de colocar los heliostatos son:

- Campo circundante: heliostatos alrededor de la torre
- Campo Norte-Sur: heliostatos a un lado de la Torre. La orientación dependerá de en qué latitud se encuentre el emplazamiento.

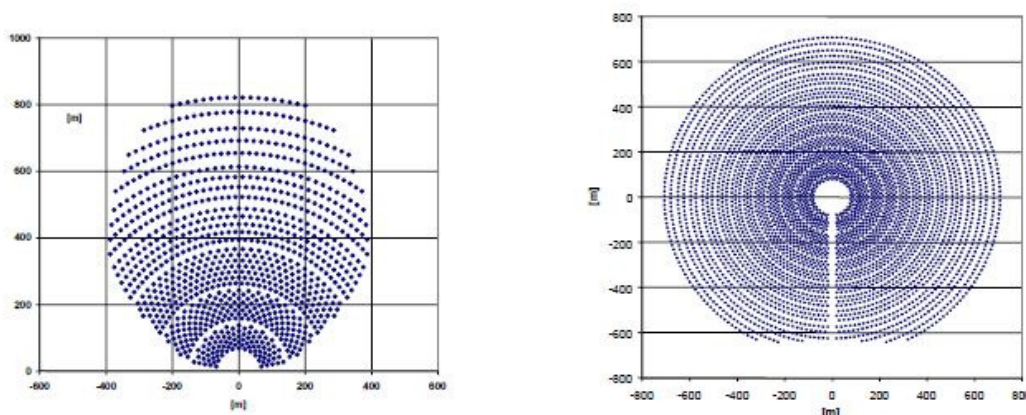


Figura 4-11 Disposiciones clásicas de colocación de los heliostatos. Izquierda: Campo N-S;

Derecha: Campo Circundante

No obstante, existen otras disposiciones que tratan de aprovechar la orografía del terreno (por ejemplo, una ladera orientada al Sur), o usan un concentrador secundario para evitar los inconvenientes derivados de situar el receptor sobre una torre.

- La torre: La función de la torre es la de servir de soporte al receptor, que normalmente debe situarse a una cierta altura sobre el nivel del campo de helióstatos para reducir las sombras y bloqueos entre éstos, y a diversos elementos auxiliares (blancos lambertianos, sistemas de medida, etc.). Hasta hoy, las torres construidas han sido de estructuras metálicas o de hormigón.
- El receptor: Es el dispositivo donde se produce la conversión de la radiación solar concentrada, en energía térmica.

4.7 Balances energéticos

4.7.1 Colector Cilíndrico Parabólico

Son dos los parámetros básicos de un CCP: la razón de concentración geométrica $[C]$ y el ángulo de aceptación $[\varphi]$.

$$C = \frac{4 \cdot A}{L \cdot \pi \cdot D^2}$$

Siendo A = área de apertura ; L = longitud del colector ; D = diámetro del tubo receptor

El ángulo de aceptación es el máximo ángulo que pueden formar dos rayos en un plano transversal a la apertura del colector, de forma que ambos rayos reflejados intercepten al tubo receptor en su reflexión.

Teóricamente, el valor de la razón de concentración está en torno a 220, pero en la práctica se encuentra alrededor de 20. Por otro lado, el ángulo de aceptación de los CCP's actuales es inferior a 1° , lo que se toma como límite para el error máximo que se puede cometer en el sistema de seguimiento solar. Y en cuanto a la temperatura, la temperatura ideal de trabajo se encuentra dentro del rango $150-400^\circ\text{C}$

4.7.1.1 Pérdidas en un CCP

Cuando la radiación solar alcanza la superficie de un colector parabólico, se pierde una cantidad importante de ella debido a diferentes factores. El total de las pérdidas se puede dividir en tres grupos, que de mayor a menor importancia se ordenan según: pérdidas ópticas, térmicas y geométricas.

a) Pérdidas ópticas: Son debidas a que los propios elementos del Colector no son perfectos. Estas imperfecciones provocan que solo una parte de la radiación solar directa que incide sobre la superficie del concentrador parabólico llegue al fluido que circula por el tubo receptor. Los cuatro parámetros que afectan a las pérdidas ópticas son:

I) *Reflectividad de la superficie del concentrador* $\rightarrow \rho \pm 90 \%$ Los valores de la reflectividad disminuyen progresivamente según aumenta la suciedad en la superficie.

II) *Factor de interceptación* $\rightarrow \gamma \pm 95\%$ se aplica este factor puesto que las imperfecciones de los espejos y los posibles errores de seguimiento solar, provocan que no todos los rayos reflejados intercepten al tubo absorbente.

III) *Transmisividad de la cubierta de cristal* $\rightarrow \tau \pm 90-95 \%$ Una parte de la radiación solar reflejada por los espejos y que alcanza a la cubierta de cristal del tubo absorbente, no es capaz de atravesarlo. La razón entre la radiación que pasa a través de la cubierta de cristal, y la radiación total incidente sobre ella, da la transmisividad de esa cubierta de vidrio.

IV) *Absortividad* $\rightarrow \alpha \pm 90-96\%$ Cuantifica la cantidad de radiación incidente sobre la superficie selectiva que ésta puede absorber.

Por tanto, se define como Rendimiento Óptico Pico del CCP, al producto de los cuatro parámetros descritos:

$$\eta_{opt.0^0} = \rho \cdot \gamma \cdot \tau \cdot \alpha$$

b) Pérdidas térmicas: Principalmente se encuentran asociadas a dos elementos del sistema, el tubo absorbente y las tuberías de fluido térmico.

Las pérdidas asociadas están formadas por pérdidas por conducción, por convección y por radiación de los diferentes medios que conforman el conjunto del tubo absorbente, es decir, por el tubo metálico, la cubierta de cristal, y la atmósfera. Aunque cada una de las pérdidas asociadas se pueden calcular de forma independiente según las ecuaciones de transferencia de calor, en la práctica las

pérdidas térmicas totales Q_L se engloban en un único coeficiente global $U_L [W/m^2_{abs} \cdot ^\circ C]$

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_{abs, radiación} + Q_{abs, conducción/convección} \\ &= U_{L, abs} \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot (T_{abs} - T_{amb}) \end{aligned}$$

Siendo: $T_{abs} \rightarrow$ Temperatura media del tubo absorbente metálico.

$T_{amb} \rightarrow$ Temperatura ambiente.

$D \rightarrow$ Diámetro exterior del tubo metálico absorbente.

$L \rightarrow$ Longitud del tubo metálico absorbente.

El valor del coeficiente global de pérdidas es un dato experimental que el fabricante facilita. Para un CCP con tubo absorbente de vacío es de unos $4 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$ para temperaturas de entorno a los $350^\circ C$

c) Pérdidas geométricas: Provocan la disminución del área efectiva de captación solar de los colectores. En un CCP se dividen en pérdidas debidas a la posición relativa de los colectores entre sí, los cuales se pueden dar sombra unos a otros; y las pérdidas inherentes a cada colector, que son motivo del ángulo de incidencia, el cual provoca que en los extremos del colector haya una pérdida de superficie reflexiva útil. El área que el colector pierde por este hecho se define según las ecuaciones:

$$S_e = L_r \cdot L_e = L_r \cdot F_m \cdot \tan(\theta)$$

$$F_m = F + (F \cdot L_r^2 / 48 \cdot F^2)$$

Siendo: $S_e \rightarrow$ El área perdida

$L_r \rightarrow$ El lado recto de la parábola

$F \rightarrow$ La distancia focal

$\theta \rightarrow$ El ángulo de incidencia de la radiación solar directa

$F_m \rightarrow$ Distancia media entre la superficie de la parábola y el receptor

La existencia del ángulo de incidencia también afecta a los valores de la reflectividad, absorptividad y transmisividad, ya que estos parámetros presentan su valor máximo cuando el ángulo de incidencia es 0° . El modificador por ángulo de incidencia, K , es un parámetro que cuantifica el efecto del ángulo de incidencia en el rendimiento del colector.

4.7.1.2 Rendimiento de un CCP

Como consecuencia de todas las pérdidas ópticas, geométricas y térmicas que existen en un CCP, la energía térmica útil que da un CCP es menor que la que daría en condiciones ideales, cuando no existieran dichas pérdidas.

En un CCP se suelen definir tres rendimientos diferentes y un parámetro:

I) *Rendimiento óptico con un ángulo de incidencia de 0° (rendimiento óptico pico), $\eta_{opt.0^\circ}$* → Tiene en cuenta todas las pérdidas ópticas que tienen lugar en el colector con un ángulo de incidencia de 0° . Su valor viene dado por el producto de estos cuatro factores: reflectividad de los espejos, transmisividad del tubo de vidrio, factor de interceptación (que tiene en cuenta la parte de radiación reflejada que por cualquier causa no alcanza el absorbente) y absorptividad de la superficie selectiva que recubre el tubo metálico absorbente.

II) *Rendimiento térmico, η_{th}* → Considera todas las pérdidas térmicas que tienen lugar en el colector.

III) *Rendimiento global, η_{global}* → Considera todas las pérdidas, tanto ópticas como geométricas y térmicas, que tienen lugar en el colector.

IV) *Modificador por ángulo de incidencia, K* → Considera todas las pérdidas ópticas y geométricas que tienen lugar en el colector para un ángulo de incidencia $\varphi \neq 0^\circ$ y que no se tienen en cuenta en $\eta_{opt.0^\circ}$ (pérdidas geométricas de final de colector, bloqueo de la radiación concentrada por parte de los soportes del tubo absorbente e influencia del ángulo de incidencia en la absorptividad y transmisividad del tubo absorbente, y en la reflectividad de los espejos).

La energía solar incidente sobre un colector cilindro parabólico viene dada por:

$$Q_{sol} = S_c \cdot I_o \cdot \cos(\theta)$$

Siendo: Q_{sol} → energía solar incidente sobre el colector (W)

S_c → Área de apertura de la superficie reflexiva del colector (m^2)

I_o → Radiación solar directa (W/m^2)

$\theta \rightarrow$ Ángulo de incidencia

Por otra parte, la energía térmica útil suministrada por el colector viene dada, en términos de incremento entálpico que experimenta el fluido de trabajo en el colector, por:

$$Q_{\text{útil}} = Q_m \cdot (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}})$$

Siendo: $Q_{\text{útil}}$ = energía térmica útil suministrada por el colector (W)

Q_m = caudal másico del fluido de trabajo (kg/s)

h_{sal} = entalpía del fluido de trabajo a la entrada al colector (J/kg)

h_{ent} = entalpía del fluido de trabajo a la salida del colector (J/kg)

El rendimiento global del colector viene dado como el cociente entre la energía térmica útil suministrada por el colector y la energía solar incidente sobre el colector:

$$\eta_{\text{global}} = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{sol}}}$$

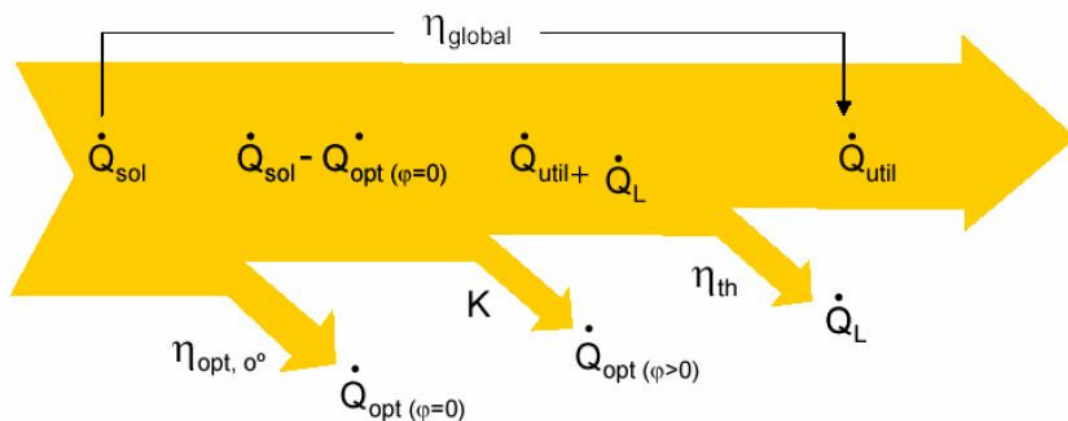


Figura 4-12 Balance energético de un CCP

La figura 4-12 representa gráficamente el balance energético en un CCP, ilustrando el significado de los rendimientos y del modificador por ángulo de incidencia, explicado anteriormente.

El rendimiento óptico pico, $\eta_{opt.0^\circ}$, no depende de la radiación solar ni de la temperatura de trabajo del fluido, pero sí del grado de ensuciamiento del colector, ya que ello afecta a la reflectividad de los espejos y a la transmisividad de la cubierta de vidrio del tubo absorbente. Esta dependencia obliga a que cuando da este valor, el fabricante tiene que especificar el grado de limpieza para el cual es válida. El grado de limpieza se refiere a la reflectividad de los espejos y a la transmisividad del tubo de vidrio. Un valor típico del rendimiento óptico pico es aproximadamente 0.75, para un grado de limpieza del 100%.

El modificador por ángulo de incidencia, K , depende directamente del ángulo de incidencia, siendo $K=1$ para $\varphi = 0^\circ$, y $K=0$ para $\varphi = 90^\circ$. El valor de K se da como una función $K=K(\varphi)$ que se determina experimentalmente.

El rendimiento térmico depende directamente de la temperatura de trabajo del fluido y de la radiación solar directa.

4.7.2 Disco Parabólico

Los parámetros que caracterizan el concentrador son los siguientes:

- Área de apertura del concentrador, A_{pp}
- Área de apertura del receptor, A_{cc}
- Fracción de del área de apertura no sombreada, ϵ
- Reflectividad de la superficie, ρ
- Fracción de intercepción (fracción de la energía reflejada por el concentrador que entra en el receptor, alcanzando la superficie absorbedora), φ

En el receptor, así como la máquina térmica, ciclo de potencia y el generador, vienen caracterizados por sus respectivos rendimientos energéticos, definidos como cocientes entre las potencias de salida y entrada a cada uno de estos componentes.

4.7.3 Sistemas de Torre Central

Los principales procesos que tiene lugar en este tipo de instalación son los siguientes:

- Captación de la radiación solar por el campo de heliostatos.
- Transmisión de la radiación solar a través de la atmósfera hasta el receptor.
- Captación de la radiación solar concentrada por el receptor.
- Conversión fototérmica.
- Conversión de la energía térmica en energía mecánica.

4.7.3.1 Pérdidas en un STC

Cada uno de los procesos mencionados llevan asociados unas pérdidas, las cuales se describen a continuación:

a) Pérdidas geométricas: son función exclusiva de la geometría del campo solar, es decir, de las dimensiones y posiciones relativas de los elementos que conforman dicho campo, y de la posición del Sol, es por ello por lo que dependen mucho del tiempo. Se distinguen tres causas de estas pérdidas:

-Pérdidas originadas por la reducción del área proyectada visible para el Sol: Son proporcionales al coseno del ángulo de inclinación de la normal al heliostato con respecto a los rayos solares, y se cuantifican mediante el llamado *factor coseno*.

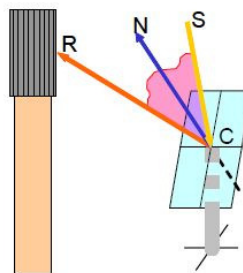


Figura 4-13 Pérdidas por Factor Coseno

-*Pérdidas por sombras:* Causan una reducción del área útil reflexiva

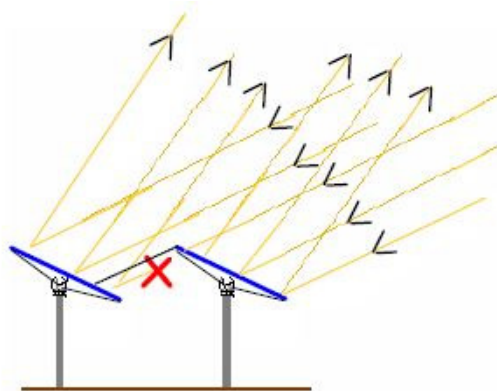


Figura 4-14 Pérdidas por Sombras

-*Pérdidas por bloqueo:* Cuantifican la fracción de radiación solar reflejada por los heliostatos que no alcanza al receptor por causa de otro heliostato

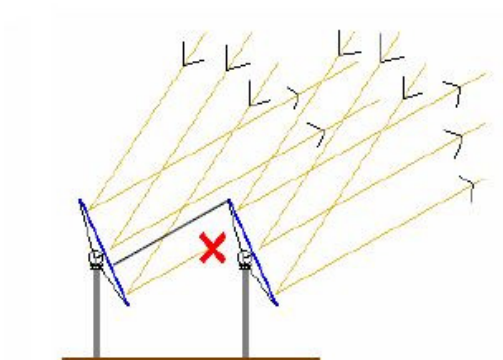


Figura 4-15 Pérdidas por Bloqueos

b) Pérdidas por reflectividad: Parte de la radiación incidente sobre la superficie reflexiva de un heliostato no es reflejada, sino que es absorbida por el captador. La razón entre la radiación incidente y la reflejada se denomina “reflectividad”, y depende de la longitud de onda. La cuantificación de este factor se termina mediante un valor ponderado por el espectro solar.

c) Pérdidas en la captación de la radiación solar concentrada por el receptor: Una parte de la radiación reflejada por el campo de heliostatos no alcanza la superficie reflectora debido a imperfecciones de los heliostatos, a errores de apunte al foco, etc. Este hecho se cuantifica mediante el *factor de desbordamiento* o *slippage*.

d) Pérdidas en la conversión fototérmica: incluyen las pérdidas por radiación, convección y conducción entre los diferentes medios que conforman el sistema.

4.7.3.2 Rendimiento de un STC

Por tanto, cada uno de las pérdidas descritas anteriormente llevan asociadas un rendimiento, que normalmente se define como relación entre una magnitud de salida y la misma magnitud de entrada al proceso.

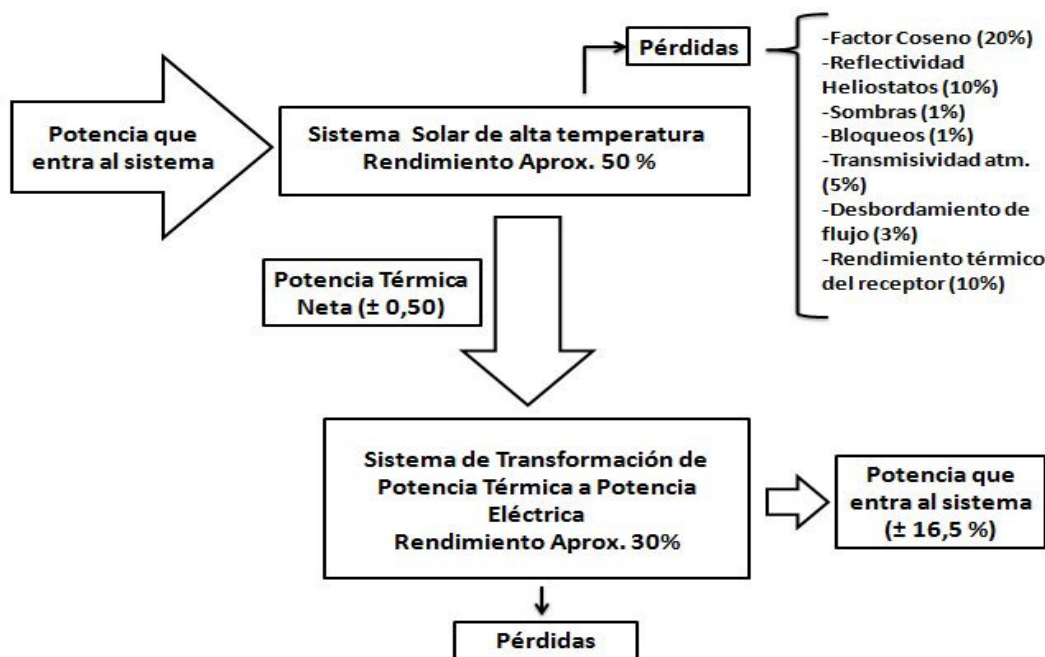


Figura 4-16 Balance Energético de un STC en condiciones nominales

Al comparar las cuatro tecnologías descritas en los apartados anteriores, nos encontramos con que dicha comparación no se realiza en base a criterios técnicos, tales como fluido de trabajo, sistemas y capacidades de almacenamiento, ciclo termodinámico, etc., sino que el contraste entre unos y otros sólo está basado, en gran medida, por el aspecto económico. No obstante, a continuación se trata de dar una visión global de los aspectos más relevantes que acabarán por definir el tipo de colector solar a utilizar en este proyecto.

Los Colectores Parabólicos Compuestos (CPC) son capaces de captar la radiación directa y la difusa, por lo que su aporte de radiación al receptor es mayor. Aún así, es una tecnología emergente en la que actualmente se está investigando. Queda por tanto descartado como posible colector, en parte por su complejidad como por la inexperiencia con ella.

Los Sistemas de Torre Central (STC) son idóneos para producir a gran escala -lo mismo que los CCP's-, pues la elevada razón de concentración y las altas temperaturas a las que se llegan son perfectas para generar electricidad. Con todo, es lógico pensar que, para un sistema individual como el que se pretende, no es viable, entre otras cosas porque los heliostatos tienen un elevado coste, y porque son sistemas pensados para grandes plantas de producción eléctrica.

Los Discos Parabólicos (DP) se encuentran en la fase de desarrollo para plantas de largo alcance, pues son una tecnología que da buenos y elevados resultados en la temperatura que logran, así como en la razón de concentración. Uno de los mayores problemas de la tecnología es su falta de fiabilidad a corto plazo; también el elevado coste de la misma, el cual se debe a que los motores situados en el receptor están fabricados de forma artesanal, y al aporte energético, mecánico y estructural del sistema de seguimiento a dos ejes que poseen. A nivel individual el sistema DC es el que más se utiliza normalmente, por ejemplo para, como ya se dijo, para cocinas solares; por ello se puede pensar que es el colector perfecto para el caso que se presenta, pero debido a la complicada estructura del receptor y a las altas temperaturas a las que se llega, innecesarias para el objeto de estudio, el DP queda descartado.

Por último, los Colectores Cilíndricos Parabólicos (CCP) constituyen una tecnología ampliamente desarrollada y probada a corto plazo que se usa actualmente en grandes

plantas para generar electricidad, ya que su eficiencia termodinámica es muy buena. El hecho de que el sistema de seguimiento solar sólo sea a un eje, y por ella reciba algo menos de radiación que el DP, implica menos costos mecánicamente hablando, por ejemplo en la reducción de tuberías pasivas, y de sus consecuentes pérdidas térmicas. Solo capta la radiación directa, lo que supone un problema en periodos de baja insolación; ello se resuelve con un aporte secundario de energía para mantener el fluido de transmisión en continuo trabajo. Dicho aporte necesita la implementación adicional de otra fuente, ya sea térmica, eléctrica, etc. No obstante, éste es un problema común de todos los colectores que no son capaces de captar la radiación solar difusa.

En conclusión, el CCP es el colector más idóneo. Y ello se debe a que es la tecnología más desarrollada y de la que existe mayor experiencia real. Además de que las temperaturas máximas que puede alcanzar, son suficientes para el trabajo que se desea sin degradar el fluido de transferencia.

Capítulo 5: Estudio del recurso solar para Alto Paraná

5.1 Introducción

El Sol, como cualquier estrella, es un reactor de fusión en el que cada segundo se generan 600 millones de toneladas de helio a través del ciclo protón-protón. Estos procesos de fusión liberan una gran cantidad de potencia calorífica, la cual se evalúa en $3,86 \times 10^{23} W_{th}$.

A pesar de que la estructura solar es muy compleja, para el aprovechamiento de su energía se adopta un modelo simplificativo, donde se toma el Sol como a un cuerpo negro que radia energía a una temperatura de 5.780 K, ya que su distribución espectral es muy parecida a la de dicho cuerpo negro.

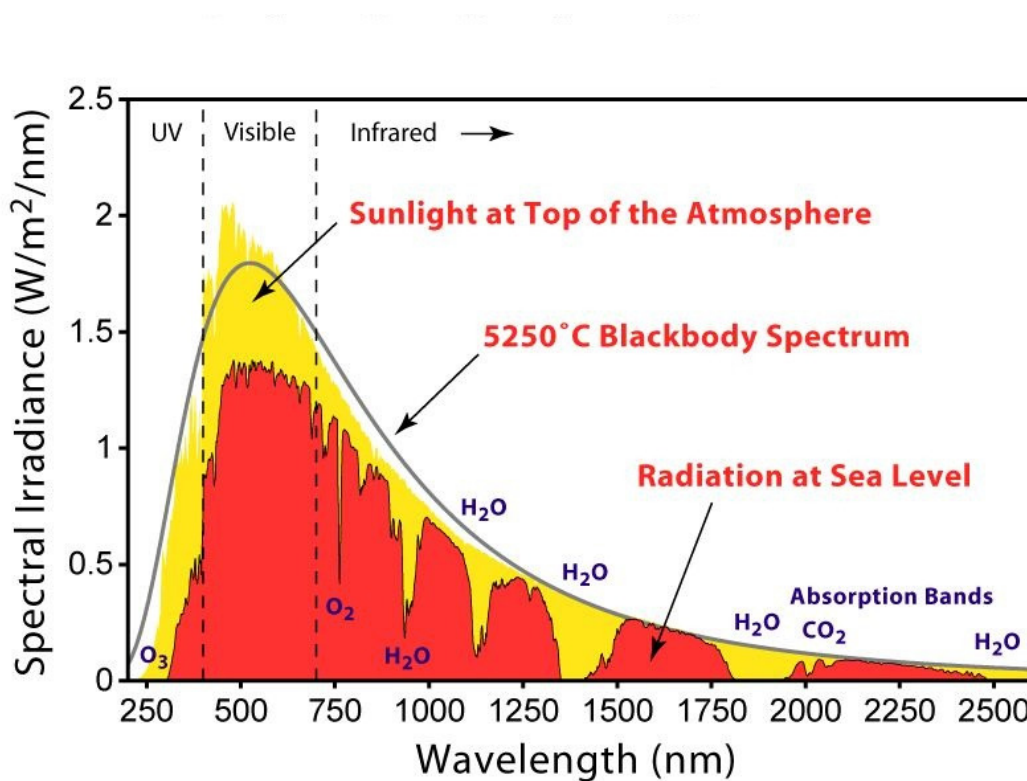


Figura 5-1 Espectro de Radiación Solar

Al atravesar la atmósfera terrestre, parte de la radiación es difundida y absorbida (puede ser reflejada también) por las moléculas en suspensión de la atmósfera, como ejemplo y así se refleja en la figura 5-1, las moléculas de vapor de agua, el CO₂ o el O₃. En cambio, otra parte de la radiación sí que consigue llegar a la superficie terrestre, es por ello por lo que se introducen los conceptos de radiación directa, difusa y de albedo. La radiación total es la suma de las tres componentes anteriores.

5.2 Parámetros utilizados

- Ángulo cenital solar θ_s : es el ángulo que forma la radiación directa del Sol con la vertical del lugar. Este ángulo varía a lo largo del día y depende de la latitud y de la declinación. Cuando el plano del terreno coincide con la horizontal del lugar, $\theta_s = \theta$
- Declinación δ : es la posición angular del Sol al mediodía solar, respecto al plano del ecuador. Su valor varía entre $\pm 23^\circ 15'$
- Ángulo horario τ : es el desplazamiento angular del Sol respecto al mediodía, que es el momento del día donde más alto se encuentra el Sol en el cielo. Cada hora corresponde a 15° de longitud.

$$\tau(\text{tiempo}) \rightarrow \tau(t = 12:00h) = \theta_s \text{mínima}$$

- Latitud λ : es la distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado del planeta, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto angular. Según el hemisferio, la latitud puede ser Norte o Sur.
- Longitud L : La longitud, en cartografía, expresa la distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano que se tome como 0° , el meridiano base, tomando como centro angular el centro de la Tierra. En la actualidad el meridiano de Greenwich marca el meridiano 0° , haciendo distinción entre longitud Este u Oeste.

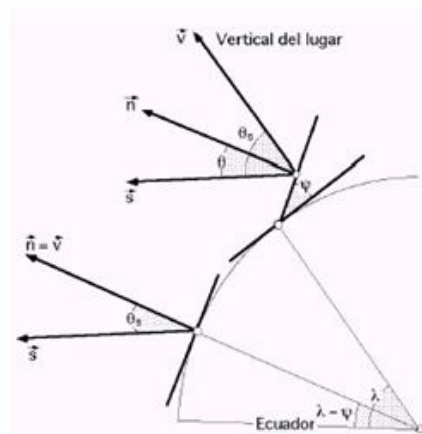


Figura 5-2 Relaciones angulares terrestres

Para el proyecto actual, se necesita únicamente la componente directa de la radiación, pues los colectores cilíndricos parabólicos sólo son capaces de captar este tipo de radiación, por tanto, las otras dos se descartan. Con el objetivo de simplificar cálculos, se han establecido una serie de modelos estadísticos que permiten obtener varios valores de radiación directa I_0 según las siguientes ecuaciones:

$$I_{o(\text{media})} = 1230 \cdot e^{\left(\frac{-1}{3.8 \cdot \cos(\theta_s - 1.6)}\right)}, \text{ usada para condiciones normales.}$$

$$I_{o(\text{m}{\acute{a}}xima)} = 1220 \cdot e^{\left(\frac{-1}{6 \cdot \cos(\theta_s - 1)}\right)}, \text{ usada para cielos muy puros.}$$

$$I_{o(\text{m}{\acute{i}}nima)} = 1260 \cdot e^{\left(\frac{-1}{2.3 \cdot \cos(\theta_s - 3)}\right)}, \text{ usada para zonas industriales.}$$

Otro factor a tener en cuenta es la orientaci3n del colector y el mecanismo que permita hacer un seguimiento lo m{as preciso posible. El seguimiento perfecto del Sol ocurrir{a} cuando el vector unitario \vec{n} , normal a la superficie de abertura del CCP, coincida con el vector unitario \vec{s} de la radiaci3n directa; puesto que de esta forma, el plano de abertura del colector ser{a} perpendicular a los rayos solares incidentes.

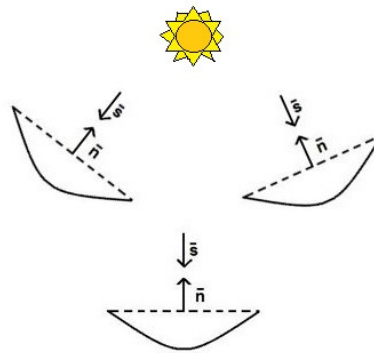


Figura 5-3 Esquema vector solar frente a vector normal a la superficie

El {a}ngulo θ es de gran importancia en este tipo de colectores puesto que es un factor multiplicativo de la radiaci3n directa, dando como resultado la energ{a} por unidad de superficie sobre el CCP:

$$I_{ef} = I_o \cdot \cos \theta$$

Seg{u}n la orientaci3n y el tipo de seguimiento, se tiene diversos valores de θ , como por ejemplo:

- Colector fijo: plano de abertura del CCP perpendicular a I_o al mediod{a} en los equinoccios de verano e invierno.

$$\cos \theta = \cos \delta \cdot \cos \tau$$

- Giro colector sobre eje horizontal Este-Oeste, con un ajuste diario: los vectores \vec{n} y \vec{s} tienen la misma direcci3n al mediod{a} de cada d{a}.

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \lambda + \cos \delta \cdot \cos \lambda \cdot \cos \tau$$

- Giro colector sobre eje horizontal Este-Oeste, con ajuste continuo de la altura de Sol: \bar{n} y \bar{s} forman un plano perpendicular a la superficie de abertura en todo momento.

$$\cos\theta = \sqrt{1 - \cos^2\delta \cdot \sin^2\tau}$$

- Giro colector sobre eje horizontal Norte-Sur con ajuste continuo.

$$\cos\theta = \sqrt{(\sin\lambda \cdot \sin\delta + \cos\lambda \cdot \cos\delta \cdot \cos\tau)^2 + \cos^2\delta \cdot \sin^2\tau}$$

- Giro sobre un eje paralelo al eje de la Tierra, con ajuste continuo.

$$\cos\theta = \cos\delta$$

- Giro sobre dos ejes perpendiculares, con ajuste continuo del seguimiento del Sol, de forma que siempre se cumpla que $\bar{n} = \bar{s}$. Por lo que $I_{ef} = I_0$ y los rayos solares inciden en todo momento normalmente al plano de abertura, paralelos al plano de simetría del colector.

$$\cos\theta = 1$$

5.3 Cálculos

Para el cálculo de la radiación efectiva en la zona de Alto Paraná, se toman como coordenadas de referencia 25° S y 54° O.



Fuente: Google Earth

Figura 5-4 Mapa del territorio de Alto Paraná, Paraguay

El cálculo de la declinación se realiza a través de la fórmula:

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \left[360 \cdot \frac{(284+n)}{365} \right] \quad \text{Siendo "n" el nº de día natural}$$

Se toma la declinación media de cada mes para los cálculos posteriores.

Tabla 5-1 Declinación media mensual en grados sexagesimales y en radianes.

Declinación		
	sexagesimal	radianes
Enero	-20,85	-0,36
Febrero	-13,33	-0,23
Marzo	-2,39	-0,04
Abril	9,49	0,17
Mayo	18,81	0,33
Junio	23,08	0,40
Julio	21,10	0,37
Agosto	13,30	0,23
Septiembre	1,99	0,03
Octubre	-9,85	-0,17
Noviembre	-19,05	-0,33
Diciembre	-23,10	-0,40

El ángulo horario se calcula según la fórmula: $\tau = 15^\circ \cdot (hs - 12)$ Siendo "hs" las horas de reloj. El valor es negativo por la mañana y positivo tras el mediodía. Además, para la latitud y longitud tomadas, se considera que las horas de luz útil van desde las 7.00 hs hasta las 17.00 hs

Tabla 5-2 Ángulo horario en grados sexagesimales y en radianes.

Ángulo horario		
horas	τ en sexg.	τ en rad.
6	-90	-1,57
7	-75	-1,31
8	-60	-1,05
9	-45	-0,79
10	-30	-0,52
11	-15	-0,26
12	0	0,00
13	15	0,26
14	30	0,52
15	45	0,79
16	60	1,05
17	75	1,31
18	90	1,57

Para el cálculo de la radiación directa I_o , se toma la región como en condiciones normales, por tanto:

$$I_{o(media)} = 1230 \cdot e^{\left(\frac{-1}{3.8 \cdot \cos(\tau - 1.6)}\right)}$$

Además, la orientación y seguimiento que se usará será a un solo eje horizontal E-O con seguimiento al mediodía, por tanto: $\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\lambda + \cos\delta \cdot \cos\lambda \cdot \cos\tau$

Tabla 5-3 Cálculo del $\cos\theta$ y de I_o para el mes de enero. (Datos angulares en radianes).

Enero					
Hora	Ángulo horario τ	Latitud λ	Declinación δ	Cos θ	I_o
7:00	1,31	-0,44	-0,36	0,37	489,62
8:00	1,05	-0,44	-0,36	0,57	744,38
9:00	0,79	-0,44	-0,36	0,75	856,26
10:00	0,52	-0,44	-0,36	0,88	911,97
11:00	0,26	-0,44	-0,36	0,97	938,47
12:00	0,00	-0,44	-0,36	1,00	945,31
13:00	0,26	-0,44	-0,36	0,97	938,47
14:00	0,52	-0,44	-0,36	0,88	911,97
15:00	0,79	-0,44	-0,36	0,75	856,26
16:00	1,05	-0,44	-0,36	0,57	744,38
17:00	1,31	-0,44	-0,36	0,37	489,62

Estos cálculos se realizan para cada mes del año.

El valor que realmente es interesante conocer, puesto que es el que se utilizará finalmente, es el de $I_{efectiva}$ [W/m^2]. Para poder saber este dato es necesario calcular el rendimiento óptico del sistema de concentración, en función del tipo de superficie reflexiva y absorbadora, se tendrá un valor u otro. En este caso se utilizará como superficie reflexiva una plancha de aluminio, cuyas características ópticas son obtenidas en referencia al panel "MICRO-SUN Weatherproof reflective 90" de la empresa Alanod Solar. El receptor será de acero y para lograr la máxima absorción de la radiación, se usa una pintura selectiva de PyromarkTM que es robusta, resistente a altas temperaturas y al ciclo térmico, además de que es capaz de absorber el 95% de la radiación solar incidente.

Por tanto, el resultado del **rendimiento óptico es de 0.71** que es el producto de los valores que a continuación se muestran en la tabla. El valor del error óptico de reflexión es desconocido, por tanto no aplica en el cálculo del rendimiento óptico.

$$\text{Rend. Óptico} = \rho * \tau * \alpha * d * \gamma$$

Tabla 5-4 Cálculo del rendimiento óptico

Rendimiento Óptico	
ρ : Reflectividad superficie Reflectora	0,9
τ : Trasmisividad del cristal absorbedor	1
α : Absortividad del tubo del absorbedor	0,95
d : Reflectancia espectral	0,87
f : Error óptico de reflexión.	x
γ : Factor de interceptación	0,96
rend.opt= 0,714096	

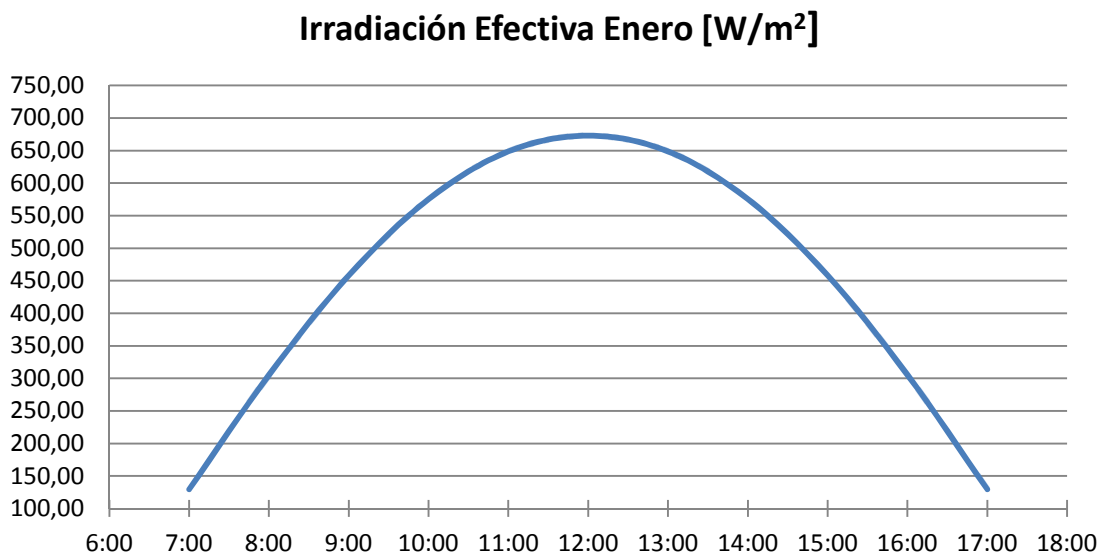
De este modo, ya se puede obtener la Irradiación Efectiva (I_{ef}) como producto de I_o por el $\cos\theta$ y por el rendimiento óptico:

$$I_{ef} = I_o \cdot \cos \theta \cdot \text{rend. óptico}$$

Tabla 5-5 Cálculo de $I_{efectiva}$ para el mes de enero

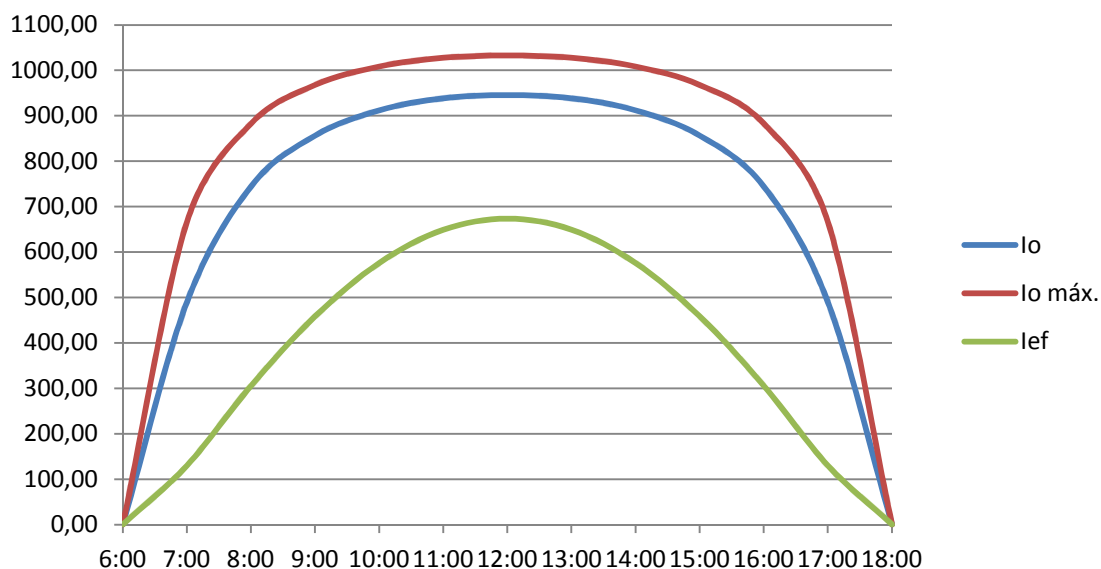
Enero						
Hora	Ángulo horario τ	Latitud λ	Declinación δ	$\cos \theta$	I_o	$I_{ef} [W/m^2]$
7:00	1,31	-0,44	-0,36	0,37	489,62	129,51
8:00	1,05	-0,44	-0,36	0,57	744,38	305,29
9:00	0,79	-0,44	-0,36	0,75	856,26	458,26
10:00	0,52	-0,44	-0,36	0,88	911,97	575,58
11:00	0,26	-0,44	-0,36	0,97	938,47	648,91
12:00	0,00	-0,44	-0,36	1,00	945,31	673,08
13:00	0,26	-0,44	-0,36	0,97	938,47	648,91
14:00	0,52	-0,44	-0,36	0,88	911,97	575,58
15:00	0,79	-0,44	-0,36	0,75	856,26	458,26
16:00	1,05	-0,44	-0,36	0,57	744,38	305,29
17:00	1,31	-0,44	-0,36	0,37	489,62	129,51

En la gráfica que se muestra a continuación se puede observar la curva que forma la radiación a lo largo de las horas de luz establecidas:



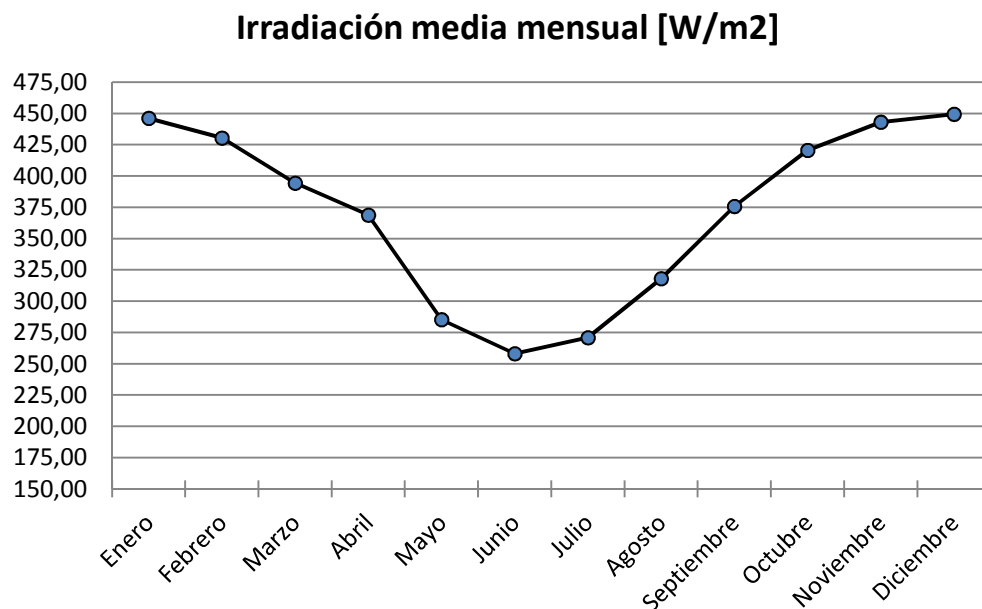
Gráfica 5-1 Irradiación efectiva del mes de enero medida en W/m²

Si se realiza una comparación entre la Irradiación media, la efectiva, y la máxima para un mismo mes, se puede observar que las diferencias en las curvas y en los valores son muy altas, debido a la actuación del rendimiento óptico:



Gráfica 5-2 Comparativa entre la irradiación normal, la máxima y la efectiva para el mes de enero.

Por último, en la siguiente gráfica se puede observar la irradiación media mensual para un año entero:



Gráfica 5-3 Irradiación media por mes y por año

Para poder tener un único valor de irradiación efectiva, se realiza una media aritmética de los diferentes parámetros que conforman el cálculo de la misma:

$$\cos \theta \text{ promedio} = 0,60$$

$$I_0 \text{ promedio} = 802,43 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Rendimiento óptico} = 0,71$$

$$\text{Irradiación efectiva} = 0,60 \times 802,43 \times 0,71 = \mathbf{341.8 \text{ W/m}^2}$$

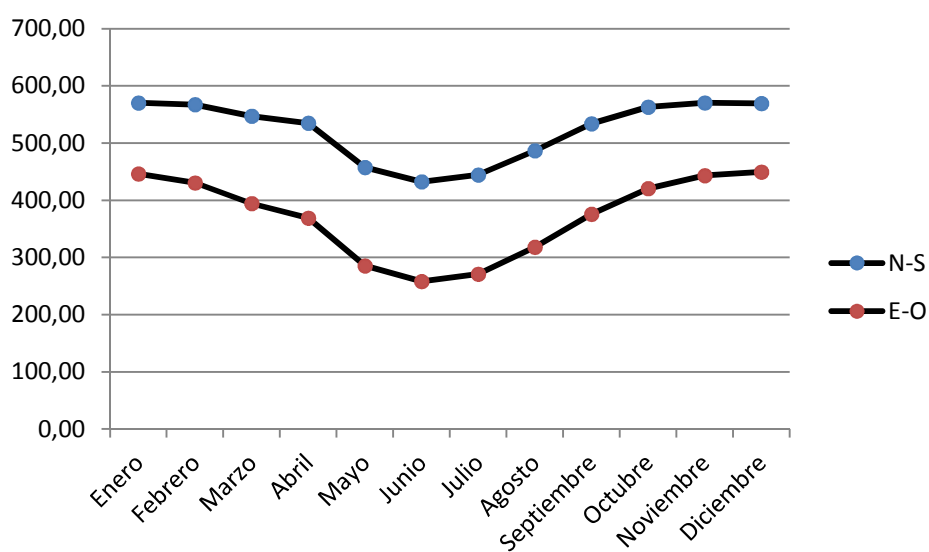
Durante el estudio de la radiación solar, también se planteó realizar una orientación horizontal Norte-Sur, con seguimiento continuo a lo largo del día. Al realizar los cálculos se observó que la radiación efectiva era mucho mayor que para una orientación Este-Oeste, así se puede ver en la Tabla 5-5 y en la Gráfica 5-4

Para realizar los cálculos en la orientación nueva, N-S, la fórmula que se usó para el $\cos \theta$ fue la siguiente:

$$\cos\theta = \sqrt{(\text{sen}\lambda \cdot \text{sen}\delta + \cos\lambda \cdot \cos\delta \cdot \cos\tau)^2 + \cos^2\delta \cdot \text{sen}^2\tau}$$

Tabla 5-6 Comparación de la Irradiación efectiva [W/m²] con dos posibles orientaciones

Irradiación efectiva		
Orientación	N-S	E-O
Enero	570,20	446,20
Febrero	567,36	430,41
Marzo	547,15	394,35
Abril	534,88	368,82
Mayo	457,51	285,31
Junio	432,39	258,08
Julio	444,26	270,86
Agosto	486,69	318,07
Septiembre	533,85	375,79
Octubre	562,98	420,59
Noviembre	570,35	443,12
Diciembre	569,28	449,43



Gráfica 5-4 Comparación de las irradiaciones efectivas según diferentes orientaciones, Norte-Sur y Este-Oeste

Por tanto, para una orientación Norte-Sur, el valor de la Irradiación Efectiva es de 525,15 W/m²

Cos θ promedio = 0,92

I₀ promedio = 802,43 W/m²

Rendimiento óptico = 0,71

$$\text{Irradiación efectiva} = 0,92 \times 802,43 \times 0,71 = \mathbf{524,15 \text{ W/m}^2}$$

El aumento de energía por unidad de superficie que se obtiene con una orientación Norte-Sur es porque para esa situación se realiza un seguimiento diario y continuo del Sol, de forma que el vector unitario de la radiación del Sol \bar{s} , es siempre normal al plano de abertura del colector.

No obstante, para la realización de este proyecto se ha optado por una orientación Este-Oeste con un seguimiento de ajuste diario al mediodía.

La decisión de usar la orientación que menos irradiación proporciona se debe a que el sistema de seguimiento es mucho más sencillo, pues no hay que ajustar el colector a cada hora, sino sólo a una concreta, el mediodía. Además, las temperaturas que se necesitan no son excesivamente altas, por lo que tampoco se necesita demasiada energía.

Capítulo 6. Dimensionado del canal parabólico

6.1 Cálculo del lado recto y de los puntos máximos.

Determinación del foco F.

Para el diseño del canal parabólico, se cuenta con una plancha de aluminio cuyas dimensiones son de 3x1.2 metros. Se toma el lado de 1.20 m como lado curvo de parábola puesto que estructuralmente es más sencillo un soporte para una abertura menor. Para poder saber el tamaño del lado recto, se procede a realizar una serie de cálculos en función de diferentes distancias focales.

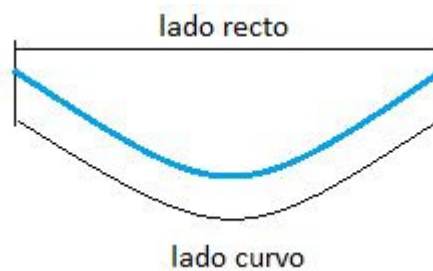
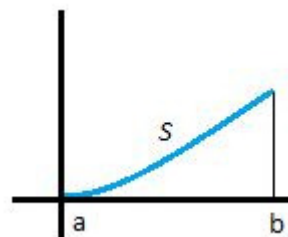


Figura 6-1 Perfil de la superficie captadora

Tomando como origen de coordenadas el punto (0,0) en el vértice de la parábola, los cálculos se toman para tres posibles distancias focales: 20, 30 y 50 cm.

Para calcular la abertura, es decir, el lado recto "Lr", se utiliza la fórmula del arco de una curva, por la cual se puede conocer la longitud de ésta.

$$S = \int_a^b \sqrt{1 + f'(x)} dx$$



La longitud de la curva es conocida y es igual a $S = 0.60$ metros. $f'(x)$ es la derivada primera de la ecuación de la parábola. El límite $a=0$, y el límite b es desconocido. Por

tanto, operando, sustituyendo y despejando b , se obtiene el valor de la semiabertura, o de lo que es lo mismo, de $X_{\text{máx}}$.

Este valor depende del foco F que se escoja, pues $f(x) = y = \frac{x^2}{4 \cdot F}$, por lo que:

$$F = 0.50 \text{ m} \rightarrow f(x) = \frac{x^2}{4 \cdot 0.5} = \frac{x^2}{2} \rightarrow f'(x) = x \rightarrow X_{\text{máx}} = 0.43 \text{ m}$$

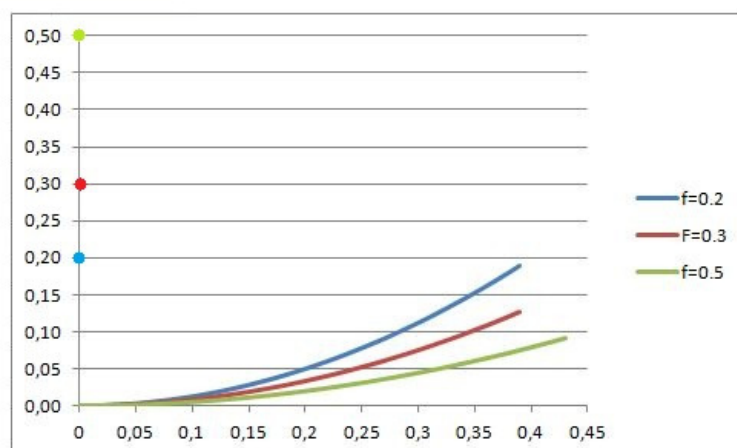
$$F = 0.30 \text{ m} \rightarrow f(x) = \frac{x^2}{4 \cdot 0.3} = \frac{x^2}{1.2} \rightarrow f'(x) = 1.67x \rightarrow X_{\text{máx}} = 0.39 \text{ m}$$

$$F = 0.20 \text{ m} \rightarrow f(x) = \frac{x^2}{4 \cdot 0.20} = \frac{x^2}{0.8} \rightarrow f'(x) = 2.5x \rightarrow X_{\text{máx}} = 0.39 \text{ m}$$

Para obtener $Y_{\text{máx}}$, se sustituye la $X_{\text{máx}}$ obtenida, en la ecuación general de la parábola de forma que quedan los siguientes resultados:

Tabla 6-1 Relación de focos con sus respectivas coordenadas de abertura máxima

Foco	0,20 m	0,30 m	0,50 m
$X_{\text{máx}}$	0,39	0,39	0,43
$Y_{\text{máx}}$	0,19	0,13	0,09



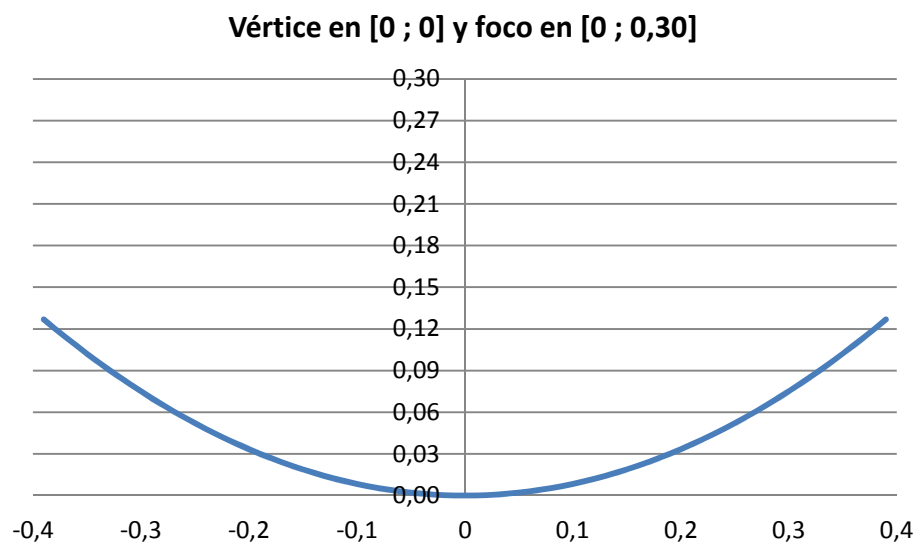
Gráfica 6-1 Relación de focos con sus respectivas coordenadas de abertura máxima

Como se puede observar en la gráfica 6-1, la abertura para un foco a 50cm de distancia es demasiado grande para las necesidades térmicas del proyecto, además de que la

altura máxima sobre el vértice es de tan sólo 9cm, queda por tanto descartado. Para un foco a 20 cm, la altura $Y_{\text{máx}}$ es prácticamente la misma; estructuralmente este es el caso más favorable, pues foco y altura máxima se pueden ajustar al mismo plano Z. Por último, para un foco a 30 cm, la *relación distancia focal – altura máxima*, queda a prácticamente el doble la una de la otra.

Dicho lo anterior, se decide que la distancia focal será de 30 cm. Los motivos por los que no se escoge un foco a 20 cm se explican más adelante.

La parábola definitiva tiene las dimensiones siguientes: Foco=0.30 metros, lado curvo=1.2 metros y lado recto=0.78 metros.



Gráfica 6-2 Perfil del canal parabólico (expresado en metros)

6.2 Cálculo del ángulo de abertura α y de la distancia ρ

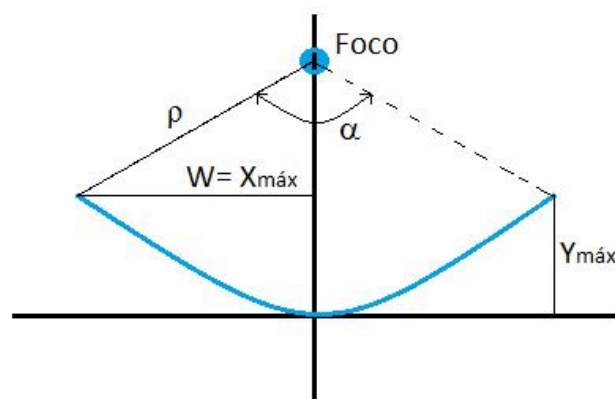


Figura 6-2 Esquema de las relaciones y distancias dentro del perfil del CCP

$$Tg\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{x_{max}}{F - y_{max}} = \frac{0.39}{0.30 - 0.13} = 2.29$$

$$\alpha = 2 \times \arctg(2.29) = 133^\circ \text{ [Deg]}$$

$$\alpha = 2.32 \text{ rad}$$

$$\rho = \sqrt{W^2 + (F - y)^2} = \sqrt{0.39^2 + (0.30 - 0.13)^2}$$

$$\rho = 0.425 \text{ m}$$

6.3 Cálculo del diámetro del tubo receptor

El Sol no es una fuente solar luminosa puntual. Visto desde la superficie de la Tierra, el disco solar que conforma corresponde a un ángulo de apertura de $32'$, por tanto la radiación solar directa sobre la superficie terrestre no está formada por rayos perfectamente paralelos entre sí, sino que se distribuyen sobre un cono de direcciones de semiángulo igual a $16'$ alrededor de la línea que une el punto de observación con el centro del disco solar. Así, no todos los rayos de este cono alcanzarán un receptor de tamaño arbitrario.

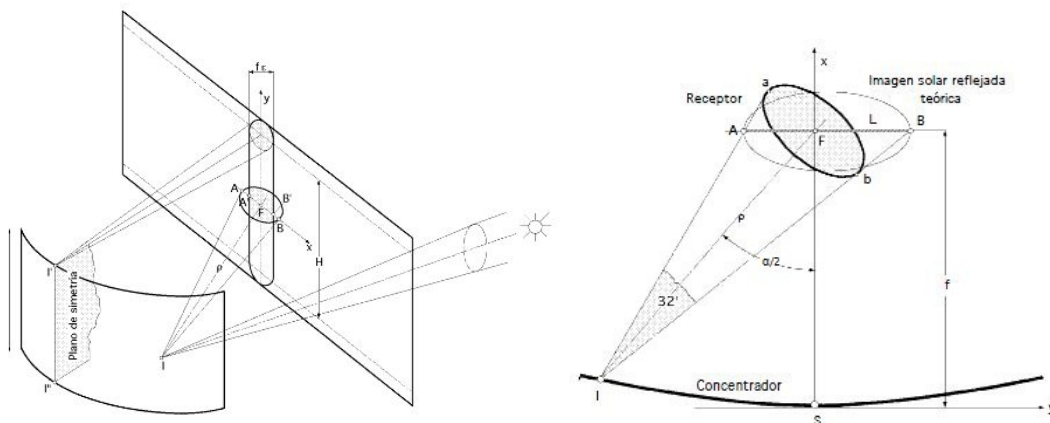


Figura 6-3 Proyección del disco solar sobre el absorbedor

El valor del diámetro mínimo que tiene que tener el tubo receptor depende principalmente de la distancia focal a través del valor de ρ , así para una un foco situado a 30 cm sobre el vértice del colector, el diámetro mínimo se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$\varnothing_{min} = \frac{2 \cdot \rho \cdot \operatorname{tg} 16'}{\cos(\alpha/2)} = \frac{2 \cdot \rho \cdot \operatorname{tg} 16'}{\cos(\alpha/2)} = \frac{2 \cdot 0.425 \cdot \operatorname{tg} 16'}{\cos(133/2)}$$

$$\varnothing_{min} = 0.99 \text{ cm} \approx 1 \text{ cm}$$

Si hacemos el mismo cálculo para un foco situado a 20 cm, el diámetro mínimo que se obtiene es de 13,8 cm, es decir, haría falta un tubo de ese diámetro para que con el foco a esa distancia, el cono solar captase al tubo receptor.

6.4 Cálculo de las pérdidas geométricas

Una vez determinado el perfil del canal parabólico, se pueden realizar los cálculos de las pérdidas geométricas asociadas al ángulo de incidencia:

$$S_e = L_r \cdot L_e = L_r \cdot F_m \cdot \tan(\theta)$$

$$F_m = F + (F \cdot L_r^2 / 48 \cdot F^2)$$

$$F_m = 0,3 + (0,3 \cdot 0,78^2 / 48 \cdot 0,3^2) = 0,342 \text{ m}$$

$$S_e = 0,78 \cdot 0,342 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,6) = 0,36 \text{ m}^2$$

Este cálculo implica una reducción del 10 % de la superficie total de reflexión, que con unos 3,6 m² teóricos queda reducida a una superficie útil de 3,24 m².

Por tanto, se puede hacer el cálculo de la energía solar incidente sobre el colector cilíndrico parabólico:

$$Q_{sol} = S_c \cdot I_o \cdot \cos(\theta)$$

Donde en este caso S_c es la superficie útil de reflexión, y la I_o constituye la I_{ef} que ya lleva implícita el rendimiento óptico, con lo que:

$$Q_{sol} = 3,24 \text{ m}^2 \cdot 341,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,60 = 664,46 \text{ W}$$

Capítulo 7: Dimensionado del tubo receptor

Para realizar los cálculos que se muestran a continuación, hay que recordar que el objetivo final de este proyecto es la generación de calor para un secadero de alimentos. Por tanto, para el diseño del tubo receptor, se debe determinar primero la demanda del secadero.

7.1 Demanda secadero

Las dimensiones del secadero son: una planta de 6 m^2 por una altura de $2,5 \text{ m}$. En él irán dispuestas las baldas agujereadas donde se colocarán los alimentos. La superficie disponible de bandejas será de 90 m^2 . Se estima que la masa de alimentos que se puede introducir es de 50 kg , puesto que hay que tener en cuenta que éstos han de ir troceados en láminas.

Supuesto el caso más desfavorable de hortaliza: el tomate posee un contenido en agua del 90% de su masa. Por lo que la potencia que se necesita para deshidratar dicha cantidad en tres días es:

$$50 \text{ Kg} \cdot 0,90 = 45 \text{ kg}$$

$$45 \text{ Kg} \cdot 2200 \text{ J/Kg} = 99\,000 \text{ J}$$

$$\frac{99\,000 \text{ J}}{3 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} = \mathbf{382 \text{ W}}$$

7.2 Tubo receptor

El receptor de absorción está compuesto por una serie de varios tubos de acero de diámetro muy pequeño. A forma de aislante, se recubre a los tubos por la parte superior de una capa de fibra de vidrio, cuya conductividad térmica es de $k_{f.\text{vidrio}} = 0,043 \text{ W/mK}$. A su vez la parte inferior es pintada con una capa negra de pintura selectiva Pyromark™.

Los tubos de acero tiene de diámetro interior 5 mm y de diámetro exterior 6 mm . Mientras que el diámetro interior del aislante es de 6 mm y exterior 10 mm .

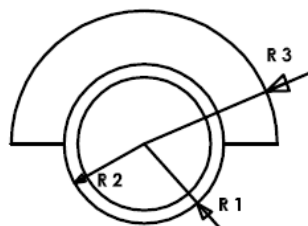


Figura7-1 Perfil del tubo receptor

Los tubos se sitúan a la distancia focal de 300 mm desde el vértice de la parábola, y se disponen en a lo largo de una semicircunferencia de diámetro 70 mm. De forma que disponiendo de una longitud de arco de 110 mm, y un diámetro exterior de los tubos (contando el aislante) de 10 mm; se dispondrá de 11 tubos para la transferencia de energía.

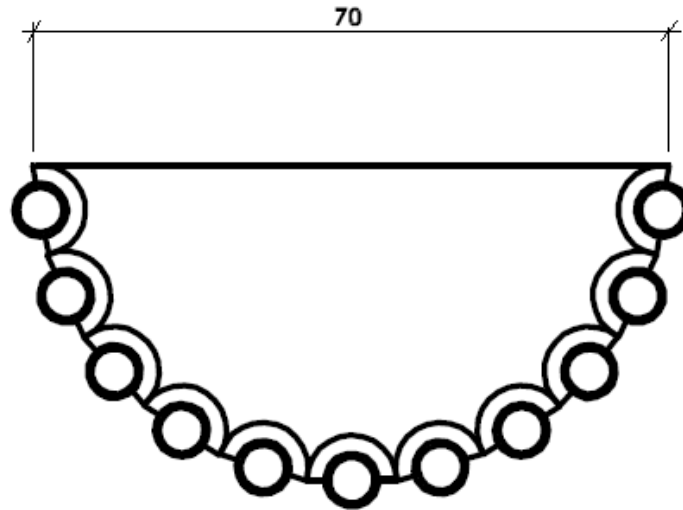


Figura 7-2 Disposición de los tubos a lo largo del foco

7.3 Cálculo de potencia útil

El fluido que se utiliza para circular por el interior de los tubos es un aceite térmico mineral altamente refinado y completamente exento de humedad. Sus propiedades son:

- Densidad: $\rho = 880 \text{ kg/m}^3$
- Viscosidad cinemática: $\nu = 22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
- Calor específico: $C_p = 2000 \text{ J/Kg}$
- Conductividad térmica: $k = 0,128 \text{ J/s} \cdot \text{m} \cdot \text{K}$

La velocidad del aceite es de 2 m/s, que se logra con una bomba de impulsión.

7.3.1 Cálculo del incremento de temperatura y de caudales máscicos

- Caudal máscico de aceite proporcionado

$$\dot{m} = \frac{\rho \cdot v \cdot \pi \cdot D^2}{4} = \frac{880 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,005^2}{4} = 0,035 \text{ Kg/s} \rightarrow 124 \text{ Kg/h}$$

- Incremento de temperatura:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = 664/2000 \cdot 0,035 = 9,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Este aumento de temperatura es por un tubo, puesto que se tienen 11, el incremento total asciende 104,5°C. Puesto que el circuito del aceite es cerrado y está en constante movimiento, se estima que la temperatura de entrada a la zona de absorción de radiación es de 60°C, por lo que la temperatura de salida será de 164,5°C.

- Caudal máscico de aceite demandado supuesta una demanda de 500W:

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{500}{2000 \cdot 104,5} = 0,024 \text{ Kg/s} \rightarrow 8,61 \text{ Kg/h}$$

- Caudal máscico de aire demandado para 500W con una temperatura de entrada al secadero de 80°C, siendo la temperatura exterior de 20°C:

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{500}{1000 \cdot 60} = 0,083 \text{ Kg/s} \rightarrow 30 \text{ Kg/h}$$

7.3.2 Cálculo del coeficiente de película h

Número de Reynolds: $Re = \frac{D \cdot v}{\nu} = \frac{0,005 \cdot 880}{22 \cdot 10^{-4}} = 4,54 < 2300 \rightarrow \text{flujo laminar}$

Número de Prandtl: $Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} = \frac{1,936 \cdot 2000}{0,128} = 30250$

Número de Nussel para convección forzada en régimen laminar:

$$Nu = 1,86 \cdot (Re \cdot Pr)^{0,333} \cdot (D/l)^{0,333} \cdot \frac{\mu^{0,14}}{\mu_p}$$

Donde: D = diámetro; l = longitud del tubo; $\frac{\mu}{\mu_p} \sim 1$

$$Nu = 1,86 \cdot (4,54 \cdot 30250)^{0,333} \cdot (0,005/3)^{0,333} = 11,37$$

Coeficiente de película h :

$$h = \frac{Nu \cdot k_{f,vidrio}}{D_{tubo+aisl.}} = \frac{11,37 \cdot 0,043}{0,01} = 48,89$$

7.3.3 Potencia útil

$$q = \frac{T - T_{\infty}}{\frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot k_{f,vidrio}} + \frac{1}{h \cdot 2 \cdot \pi \cdot l \cdot r_3 \cdot 180/360}}$$

Donde:

T = temperatura media en el tubo $\rightarrow T = (60 + 69,5)/2 = 64,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$

T_{∞} = temperatura exterior

r_3 = radio exterior aislante

r_2 = radio exterior tubo de acero

l = longitud del tubo

$$q = \frac{64,75 - 20}{\frac{\ln \frac{0,005}{0,003}}{2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 0,043} + \frac{1}{48,89 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 0,005 \cdot 180/360}} = 42 \text{ W}$$

Los 42 W son por tubo, puesto que tenemos 11 $\rightarrow 42 \cdot 11 = 462 \text{ W}$

Por tanto, $Q_{util} = 462 \text{ W}$

7.4 Rendimiento global del colector cilíndrico parabólico

Como se vio anteriormente en este documento, el rendimiento global es el cociente entre la Q_{util} y la Q_{sol} , por tanto:

$$\eta_{global} = \frac{Q_{util}}{Q_{sol}} = \frac{462}{664} \cdot 100 = 70\%$$

Capítulo 8: Seguimiento solar del colector cilíndrico parabólico

8.1 Cálculo del mediodía solar para Alto Paraná.

El mediodía solar es el punto en el que el Sol se sitúa en su cénit, coincidiendo con las 12.00 PM del reloj en el meridiano de Greenwich. La sombra producida en este momento es mínima y está siempre orientada en dirección Norte-Sur. En el caso del hemisferio sur, apunta siempre hacia el norte.

Dependiendo de la estación del año y de las coordenadas en las que el observador se encuentre, el mediodía solar variará en la hora del reloj, y en su elevación.

La elevación es el ángulo que forma la dirección del Sol, su vector unitario \bar{s} , con el plano horizontal del lugar, que equivaldrá en este caso al vector unitario \bar{n} normal a la superficie de abertura del CCP.

De esta forma, para el hemisferio sur, el Sol tendrá mayor elevación en los meses de verano –mediados de noviembre, diciembre, enero y febrero– en los que el Sol incide de forma más perpendicular; mientras que para los meses de invierno –junio, julio, agosto y mediados de septiembre–, el Sol incide de manera más oblicua.

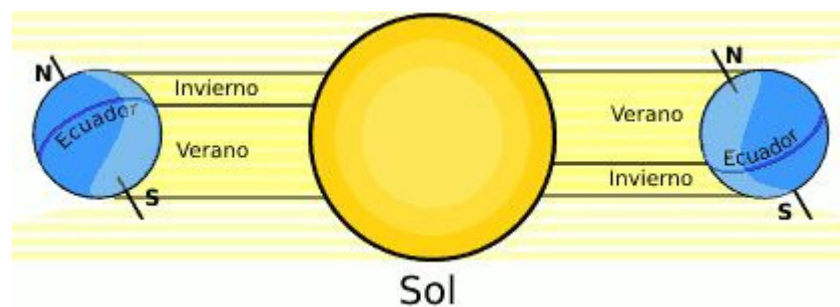


Figura 8-1 Incidencia de los rayos solares

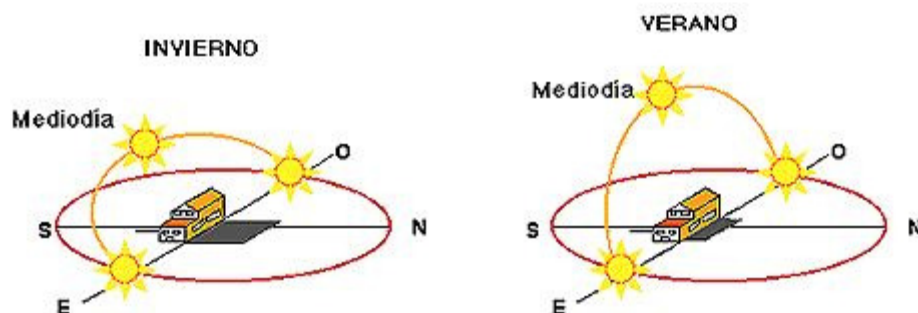


Figura 8-2 Elevación solar según la estación del año

Anteriormente los cálculos de radiación se realizaron para un seguimiento sobre eje horizontal este-oeste con ajuste diario al mediodía solar. Por tanto, se debe calcular la posición de Sol en su cénit para cada día del año.

Tras realizar los pertinentes cálculos a través de la “Hoja de Cálculo de Posición Solar” (ver Anexo A.6), se comprueba que de un día para otro el ángulo de elevación presenta desviaciones de décimas de grado, como por ejemplo el mes de diciembre y junio:

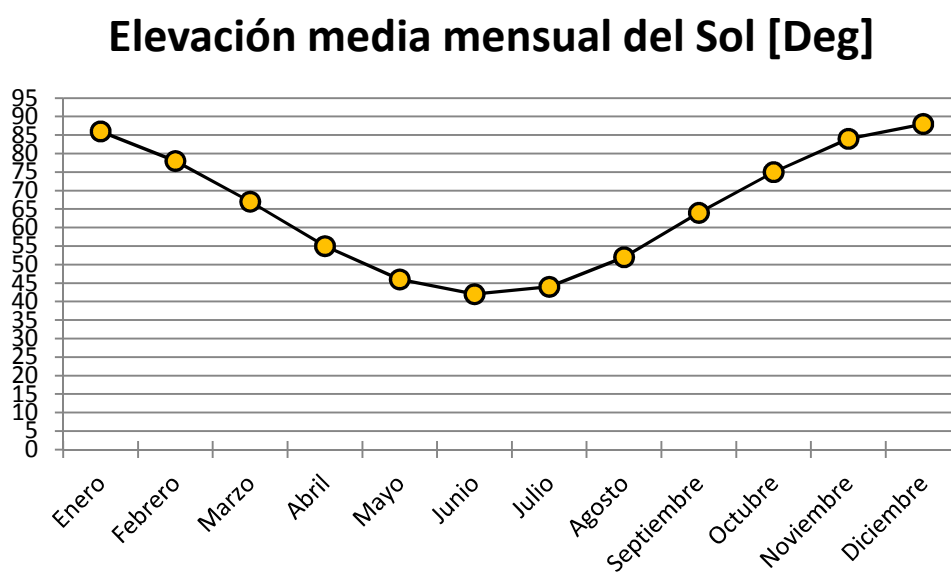
Tabla 8-1 Elevación del sol al mediodía solar para diciembre y junio

Elevación Sol en grados sexagesimales		Elevación Sol en grados sexagesimales	
01-dic-12	87,37	01-jun-12	42,68
02-dic-12	87,5	02-jun-12	42,55
03-dic-12	87,62	03-jun-12	42,42
04-dic-12	87,74	04-jun-12	42,31
05-dic-12	87,84	05-jun-12	42,20
06-dic-12	87,94	06-jun-12	42,09
07-dic-12	88,03	07-jun-12	42,00
08-dic-12	88,12	08-jun-12	41,91
09-dic-12	88,2	09-jun-12	41,83
10-dic-12	88,27	10-jun-12	41,76
11-dic-12	88,33	11-jun-12	41,69
12-dic-12	88,39	12-jun-12	41,63
13-dic-12	88,44	13-jun-12	41,58
14-dic-12	88,48	14-jun-12	41,53
15-dic-12	88,51	15-jun-12	41,50
16-dic-12	88,54	16-jun-12	41,47
17-dic-12	88,56	17-jun-12	41,45
18-dic-12	88,57	18-jun-12	41,43
19-dic-12	88,58	19-jun-12	41,42
20-dic-12	88,56	20-jun-12	41,42
21-dic-12	88,57	21-jun-12	41,43
22-dic-12	88,55	22-jun-12	41,44
23-dic-12	88,52	23-jun-12	41,47
24-dic-12	88,49	24-jun-12	41,50
25-dic-12	88,45	25-jun-12	41,53
26-dic-12	88,41	26-jun-12	41,58
27-dic-12	88,35	27-jun-12	41,63
28-dic-12	88,29	28-jun-12	41,69
29-dic-12	88,22	29-jun-12	41,75
30-dic-12	88,14	30-jun-12	41,83
31-dic-12	88,06		

Por tanto, y debido a lo dicho anteriormente se puede realizar una media mensual del ángulo de elevación solar en su cénit:

Tabla 8-2 Elevación del Sol media mensual en su cenit

Elevación Sol en grados sexagesimales	
Enero	86
Febrero	78
Marzo	67
Abril	55
Mayo	46
Junio	42
Julio	44
Agosto	52
Septiembre	64
Octubre	75
Noviembre	84
Diciembre	88



Gráfica 8-1 Posición media mensual del Sol en su cenit (expresado en grados sexagesimales)

8.2 Sistema de seguimiento solar

El sistema de seguimiento está basado en una transmisión simple de dos ruedas dentadas que constituyen un sistema de engranajes básico.

El accionamiento de los engranajes es manual, y se realiza mediante una manivela, así se muestra en el croquis de la figura 8-3:

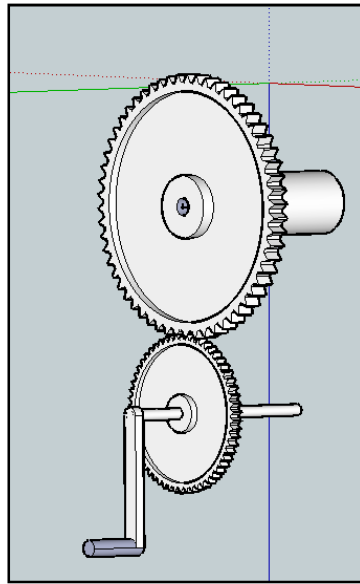


Figura 8-3 Croquis del sistema de movimiento del colector

La corona (la mayor de las ruedas dentadas) tiene un diámetro 60 cm, y a su transmisión lleva soldados los soportes del panel reflectante. Además es cuatro veces mayor que el piñón (la menor rueda dentada), que posee un diámetro de 15 cm. De forma que cuando el piñón da una vuelta completa, la corona sólo gira 90°:

$$\emptyset = 60 \text{ cm} \rightarrow \text{Perímetro} = \pi \cdot 60 = 188,5 \text{ cm}$$

$$\text{Cuarto de circunferencia} \rightarrow 90^\circ \equiv \frac{188,5}{4} = 47,12 \text{ cm}$$

$$\emptyset = 15 \text{ cm} \rightarrow \text{Perímetro} = \pi \cdot 15 = 47,12 \text{ cm}$$

Puesto que los ángulos de elevación del Sol en su cénit sólo varían entre los 42° y los 88° el movimiento que la corona quedará reducido a 90°

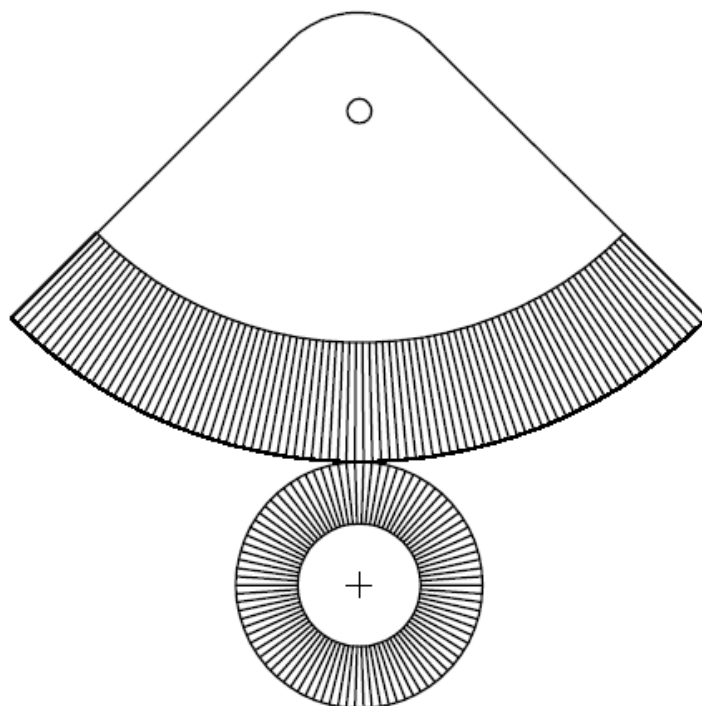


Figura 8-4 Relación de tamaños y libertad de movimiento de los engranajes

Por cada cuatro grados que el piñón gira, la corona gira un grado:

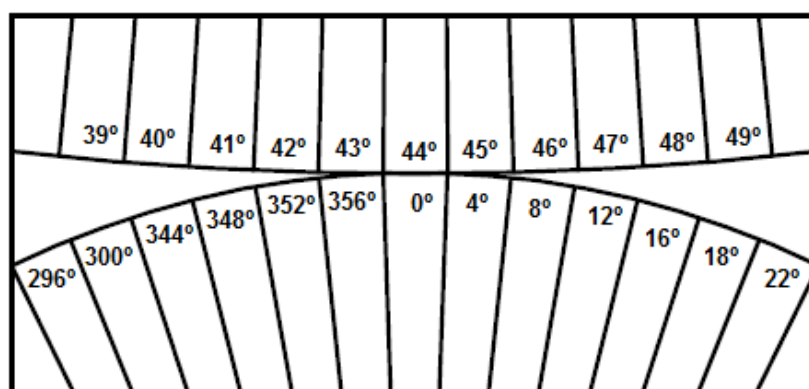


Figura 8-5 Detalle de la graduación de las ruedas dentadas

Normalmente los sistemas de seguimiento de las grandes plantas termosolares que utilizan el tipo de tecnología empleada en este proyecto, se basan en complejos

sistemas hidráulicos que se rigen por logaritmos matemáticos de seguimiento solar o por sensores de fotones que dirigen el panel.

En este caso se plantea un seguimiento manual y muy básico. El motivo principal por el que se toma esta decisión, es porque de esta manera hace falta una persona en el terreno que se encargue mensualmente de variar la posición del colector. Puesto que el proyecto está pensado para las poblaciones más desfavorecidas, la implicación directa de un miembro de la comunidad, crea por un lado un puesto de trabajo, y por el otro una conciencia colectiva del valor del sistema implantado.

Capítulo 9: Conclusiones y alcance social

El uso de la energía solar para aplicaciones tecnológicas es un campo que se está desarrollando en Sudamérica, por lo que es muy importante que desde países con años de experiencia en el campo de la energía solar se apoye y se ayude al desarrollo de nuevos proyectos.

El diseño del colector cilíndrico parabólico evitará que la Agricultura Familiar se vea gravemente desfavorecida al intentar competir en productos con la Agricultura Empresarial, pues con los alimentos deshidratados se abre una nueva línea comercial.

El presente proyecto está realizado a pequeña escala, sin embargo, se puede hacer en mayor tamaño para un uso más intensivo de los productos alimenticios.

Se pretende que en la instalación real del proyecto, la comunidad de agricultores se implique activamente, pues es la mejor manera de que valoren la tecnología instalada, de que la cuiden y de que la utilicen adecuadamente. Además, se realizarían cursos de capacitación para conocer, entender y saber manejar el sistema implantado.

La gestión social del proyecto será llevada a cabo por ONG's en colaboración con la Fundación PTI-Paraguay.

Capítulo 10: Bibliografía y referencias

10.1 Documentos electrónicos

www.psa.es

www.ceu.es

www.solarweb.net

eosweb.larc.nasa.gov

www.retscreen.net

www.alanod-solar.com

www.schott-solar.com

www.mag.gov.py

MONTES PITA, M.J; *Análisis y propuestas de sistemas solares de alta exergía que emplean agua como fluido calorífico*. TESIS DOCTORAL ESCUELA TÉCNICA SUPERIOS DE INGENIEROS INDUSTRIALES.

ROSAS CASALS, M; *Instalaciones de energía solar térmica*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA.

SILVA PÉREZ, M; *Sistemas termosolares de concentración*. DPTO. DE INGENIERÍA ENERGÉTICA Y MECÁNICA.

ROMERO ÁLVAREZ, M; *Energía solar termoeléctrica*. PLATAFORMA SOLAR DE ALMERÍA-CIEMAT.

QUINTEROS GRIJALVA, J; *Estudio teórico y experimental de colector solar parabólico para generación de energía eléctrica*. UNIVERSIDAD DE CHILE.

10.2 Bibliografía

SANCHIDRIÁN, J.A; *Transferencia de calor*. FUNDACIÓN GÓMEZ-PARDO (1999).

LIENHARD IV, J; LIENHARD V, J; *A Heat Transfer Book*. PHLOGISTON PRESS (2002)

DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO PARA
APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY

DOCUMENTO Nº 2: ESTUDIO ECONÓMICO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO /UNIDAD	TOTAL €
Tubos de acero conductores del fluido. Distribuidor Eduardo Cortina S.A.	36	metros	1,32	47,52
Aceite térmico bidón 25 litros. Hogar Tintorero	25	litros	4,91	122,75
Aluminio MIRO-SUN weatherproof 90 de ALANOD SOLAR	2	láminas	120,00	240
Fibra de Vidrio Tubular NIOGLAS	36	metros	1,5	54
Perfiles de acero frío constructivo 20 x 20 x 1,5 mm	12	metros	4,425	53,1
Perfiles de aluminio constructivo 35 x 35 x 1,5 mm	30	metros	5,15	154,5
Engranajes	2		30	60

TOTAL neto	731,87
-------------------	---------------

21% gastos generales	153,69
6% Beneficios industriales	43,91

TOTAL	929,47
--------------	---------------

Gasto de envío Internacional España-Paraguay	6.051,68
---	-----------------

TOTAL €	6.981,15
TOTAL \$ USD	9.145,31
TOTAL Gs	4.037.235.596,53

Todos los gastos sufragados por la Fundación PTI en Paraguay e ITAIPU-Binacional.

DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO PARA
APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY

DOCUMENTO Nº 3: ANEXOS

A.1 FICHA TÉCNICA ACEITE TÉRMICO

A.2 EXTRACTO CATÁLOGO DIMENSIONES TUBOS DE ACERO

A.3 EXTRACTO CATÁLOGO DIMENSIONES PERFILES FIBRA DE VIDRIO

A.4 FICHA TÉCNICA PINTURA PYROMARC

A.5 CATÁLOGO ALUMNIO REFLECTANTE, MIRO-SUN

A.6 HOJA EXCEL POSICIÓN SOLAR

A.7 CROQUIS ESTRUCTURA COLECTOR EN 3D

Aceite Térmico [®]P

Envase de 25 Lts.



Para el destilador y el recuperador de su máquina de seco.

Características físico-química

Densidad a 15°C	0,880
Índice de acidez	Neutro
Color ASTM D-1500	1,5
Viscosidad cinemática a 50°C	22 cST
Punto de inflamación	196°C
Punto de combustión	223°C
Punto de niebla	-40°C
Punto de congelación	-45°C
Cenizas	Inapreciables
Conductividad térmica a 30°	0,117 KCAL/H m2 (°C/M)
Conductividad térmica a 200°C	0,110 KCAL/H m2 (°C/M)
Temperatura máx. de trabajo en circuitos cerrados	310°C

Propiedades

Aceite altamente refinado y completamente secado (exento de humedad). Es muy importante que los fluidos térmicos no contengan humedad, ya que, a la temperatura a que están sometidos, el agua se evapora bruscamente, produciendo bolsas de vapor y alteraciones en la instalación.

Los aceites para transporte térmico deben soportar altas temperaturas, con frecuencia durante mucho tiempo. Por ello sólo pueden hallar aplicación, para tal fin, aceites resistentes a la formación de lodos que se solidifican con el calor y se adhieren a los tubos conductores en forma de carbón endurecido, dificultando la circulación del aceite, evitando la correcta transmisión del calor y estropeando las tuberías.

Nuestro aceite térmico tiene elevada resistencia a la formación de lodos y no incorpora aditivos antioxidantes ó de cualquier otro tipo, ya que a la temperatura que estos aceites se utilizan, los aditivos se queman, quedando anulados en pocas horas de uso.

Nuestro aceite no hace humos y es de gran estabilidad química. Es Ideal para los circuitos cerrados de resistencias, gran transmisor del calor. resistente a la oxidación y gran protector del óxido y la corrosión.

En algunos aceites de poca calidad con tendencia a la formación de lodos, se emplean aditivos cuya función es mantener los lodos en suspensión para que no se solidifiquen. Es conveniente revisar los niveles a menudo, y es necesario un cambio total de aceite cada doce meses.

Estas instrucciones se entienden a título informativo sin significar responsabilidad alguna por nuestra parte.



hogar tintorero, s.l. P.I. Pla d'en Coll -c/Segre,16 -08110 Montcada i Reixac
(Barcelona) Spain Telf. 93 575 22 20 Fax 93 575 33 54:
<http://www.hogartintorero.com> - email: hogar@hogartintorero.com

Según normas: UNE-EN 10305-1. (Antigua DIN 2391) Sin soldadura
UNE-EN 10305-2 (Antigua DIN 2393) Soldado

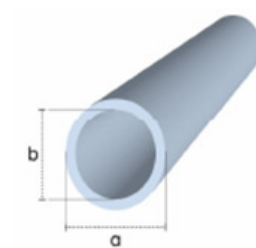
DIAMETRO INTERIOR Y DIFERENCIA ADMISIBLE

Diámetro exterior D y tolerancias (mm)	ESPESOR						
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
*6 ± 0,08	4 ± 0,12						
*8 ± 0,08	6 ± 0,10	5 ± 0,10	4 ± 0,15	3 ± 0,15			
9 ± 0,08	7 ± 0,20	6 ± 0,25	5 ± 0,35	4 ± 0,40			
10 ± 0,08	8 ± 0,08	7 ± 0,12	6 ± 0,15	5 ± 0,15			
11 ± 0,08	9 ± 0,15	8 ± 0,25	7 ± 0,12	6 ± 0,35			
12 ± 0,08	10 ± 0,08	9 ± 0,10	8 ± 0,12	7 ± 0,15	6 ± 0,15		
(13) ± 0,08	11 ± 0,15	10 ± 0,20	9 ± 0,25	8 ± 0,30	7 ± 0,40		
14 ± 0,08	12 ± 0,08	11 ± 0,08	10 ± 0,10	9 ± 0,12	8 ± 0,15		
15 ± 0,08	13 ± 0,08	12 ± 0,08	11 ± 0,10	10 ± 0,12	9 ± 0,15		
16 ± 0,08	14 ± 0,08	13 ± 0,08	12 ± 0,15	11 ± 0,12	10 ± 0,15		
18 ± 0,08	16 ± 0,08	15 ± 0,08	14 ± 0,08	13 ± 0,15	12 ± 0,15	11 ± 0,15	10 ± 0,15
20 ± 0,08	18 ± 0,08	17 ± 0,08	16 ± 0,08	15 ± 0,15	14 ± 0,15	13 ± 0,15	12 ± 0,15
22 ± 0,08	20 ± 0,08	18 ± 0,08	18 ± 0,08	17 ± 0,08	16 ± 0,15	15 ± 0,15	14 ± 0,15
25 ± 0,08	23 ± 0,08	22 ± 0,08	21 ± 0,08	20 ± 0,08	19 ± 0,15	18 ± 0,15	17 ± 0,15
(26) ± 0,08	24 ± 0,08	23 ± 0,08	22 ± 0,08	21 ± 0,08	20 ± 0,15	19 ± 0,15	18 ± 0,15
28 ± 0,08	26 ± 0,08	25 ± 0,08	24 ± 0,08	23 ± 0,08	22 ± 0,15	21 ± 0,15	20 ± 0,15
30 ± 0,08	28 ± 0,08	27 ± 0,08	26 ± 0,08	25 ± 0,08	24 ± 0,15	23 ± 0,15	22 ± 0,15

	32 ± 0,15	31 ± 0,15	30 ± 0,15	29 ± 0,15	28 ± 0,15	27 ± 0,15	26 ± 0,15
35 ± 0,15	33 ± 0,15	32 ± 0,15	31 ± 0,15	30 ± 0,15	29 ± 0,15	28 ± 0,15	27 ± 0,15
38 ± 0,15	36 ± 0,15	33 ± 0,15	34 ± 0,15	33 ± 0,15	32 ± 0,15	31 ± 0,15	30 ± 0,15
40 ± 0,15	38 ± 0,15	37 ± 0,15	36 ± 0,15	35 ± 0,15	34 ± 0,15	33 ± 0,15	32 ± 0,15
42 ± 0,20	40 ± 0,20	39 ± 0,20	38 ± 0,20	37 ± 0,20	36 ± 0,20	35 ± 0,20	34 ± 0,20
45 ± 0,20	43 ± 0,20	42 ± 0,20	41 ± 0,20	40 ± 0,20	39 ± 0,20	38 ± 0,20	37 ± 0,20
48 ± 0,20	46 ± 0,20	45 ± 0,20	44 ± 0,20	43 ± 0,20	42 ± 0,20	41 ± 0,20	40 ± 0,20
50 ± 0,20	48 ± 0,20	47 ± 0,20	46 ± 0,20	45 ± 0,20	44 ± 0,20	43 ± 0,20	42 ± 0,20
55 ± 0,25	53 ± 0,25	52 ± 0,25	51 ± 0,25	50 ± 0,25	49 ± 0,25	48 ± 0,25	47 ± 0,25
60 ± 0,25	58 ± 0,25	57 ± 0,25	56 ± 0,25	55 ± 0,25	54 ± 0,25	53 ± 0,25	52 ± 0,25
(65) ± 0,30	63 ± 0,30	62 ± 0,30	61 ± 0,30	60 ± 0,30	59 ± 0,30	58 ± 0,30	57 ± 0,30
70 ± 0,30	68 ± 0,30	67 ± 0,30	66 ± 0,30	65 ± 0,30	64 ± 0,30	63 ± 0,30	62 ± 0,30
(75) ± 0,35	73 ± 0,35	72 ± 0,35	71 ± 0,35	70 ± 0,35	69 ± 0,35	68 ± 0,35	67 ± 0,35
80 ± 0,35	78 ± 0,35	77 ± 0,35	76 ± 0,35	75 ± 0,35	74 ± 0,35	73 ± 0,35	72 ± 0,35
(85) ± 0,40		82 ± 0,40	81 ± 0,40	80 ± 0,40	79 ± 0,40	78 ± 0,40	77 ± 0,40
90 ± 0,40		86 ± 0,40	86 ± 0,40	85 ± 0,40	84 ± 0,40	83 ± 0,40	82 ± 0,40
(95) ± 0,45			91 ± 0,45	90 ± 0,45	89 ± 0,45	88 ± 0,45	87 ± 0,45
100 ± 0,45			96 ± 0,40	95 ± 0,45	94 ± 0,45	93 ± 0,45	92 ± 0,45

* Diferencia admisible del espesor de pared para tubos de 6 a 8 mm de diámetro exterior +/- 15 %.

() Evitar, en lo posible, las medidas que aparecen entre paréntesis.



PERFILES POLIÉSTER – FIBRA DEVIDRIO

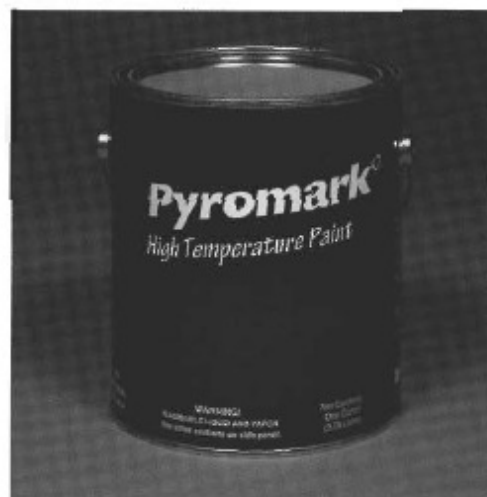
b (mm)	a(mm)	secc.(mm2)	peso (gr.)
3	6	19	34
4	6	14	25
4	8	35	62
5	10	55	99
6	10	50	90
6	12	80	144
8	12	63	113
10	15	106	191
10,5	15	94	170
15	20	185	332
18	24	283	509
20	25	287	516
20	40	1.037	1866
25	30	412	742
27	32	465	837
30	35	562	1011
32	39	742	1336
35	40	734	1322
40	45	962	1732
40	60	2.136	3845
45	50	1.080	1944
53	60	1.579	2842
63	69	2.156	3881
70	90	4.438	7988
80	100	5.404	9726
90	100	5.027	9048
100	125	8.738	15728

Pyromark[®]

High Temperature Paint

APPLICATIONS

- Infra-red Heaters
- Boilers
- Furnaces
- Ovens
- Fireplace Accessories
- Solar A
- Muffler:
- Radiat
- Stoves
- Boat and Auto Engines



- Specially formulated for protecting, decorating, or color identifying metal surfaces that will be subjected to high temperatures.
- Silicone based coatings that provide long lasting protection against oxidation and corrosion.
- Excellent covering characteristics - will not blister, chip, crack or peel at rated temperature.
- Improves heat transfer in infra-red heating applications due to high emissivity properties.
- Solar absorptivity of 0.95 makes it an almost perfect black box absorber.

Color Chart and Maximum Performance Temperatures

Color	Series 800	Series 1200	Series 2500
Aluminum (Metallic)	-	1000°F (547°C)	-
Black (Flat)	800°F (427°C)	1200°F (649°C)	2000°F (1093°C)
Black (Semi-gloss)	-	-	2000°F (1093°C)
Black (Satin Sheen)	-	1200°F (649°C)	-
Charcoal Metallic (Flat)	-	1200°F (649°C)	-

(The air dried finish on all colors is semi-gloss. The finish will become flat after heating.)

HOW TO USE: Obtain recommended instructions

Standard Packaging: Gallons, 5 gallon pails, 55 gallon drums

Temp-Alarm[®]

Time/Temperature Signaling Paint

APPLICATIONS

- Verifying heat treatment of parts
- Aluminum specialty gas cylinders
- Monitor erosion and break down of refractory linings
- Temperature profiles on engines

CAUTION

- Time/temperature dependent coating
- Test under anticipated operating conditions
- Obtain related time/temperature curves
- Coating will transition after a 5 minute heating period at rated temperature
- Coating will transition at temperatures lower than its rating over extended periods of time



The following color changes can be expected after a 5 minute heating period at the transition temperature

Type	Color	Transition Temperatures	Color of Transition	Type	Color	Transition Temperatures	Color of Transition
44C	Yellow	@ 240°F (116°C) 300°F (149°C) 375°F (191°C) 850°F (454°C)	→ Mustard → Brown → Jet Black → Grey-Green	43E	White	@ 280°F (138°C) 360°F (182°C)	→ Khaki → Deep Grey/Black
				13A	Blue	@ 310°F (155°C)	→ Black
				43B	Green	@ 750°F (399°C)	→ Yellow

Standard Packaging: Gallons, 5 gallon pails

MIRO – SUN



Weatherproof Aluminium Reflector Material

Applications:

Parabolic solar collectors (solar thermal power)
CPC-mirrors under tube-collectors
Daylight utilization systems/Venetian blinds

Construction:

Based on our MIRO product range with 95% total light reflectance, a new reflector type for outdoor applications has been developed (MIRO-SUN).

By employing a continuous "air-to-air" PVD-Process (Physical Vapor Deposition), a highly reflecting layer sequence is deposited onto anodized aluminium substrate (MIRO). At a second stage, a specially developed transparent lacquer is then applied by a coil coating process on MIRO to ensure environmental protection.

Various finishes are available for the backside:

transparent lacquer
grey lacquer or any other RAL-color
Acrylic adhesive
anodized

Sizes:

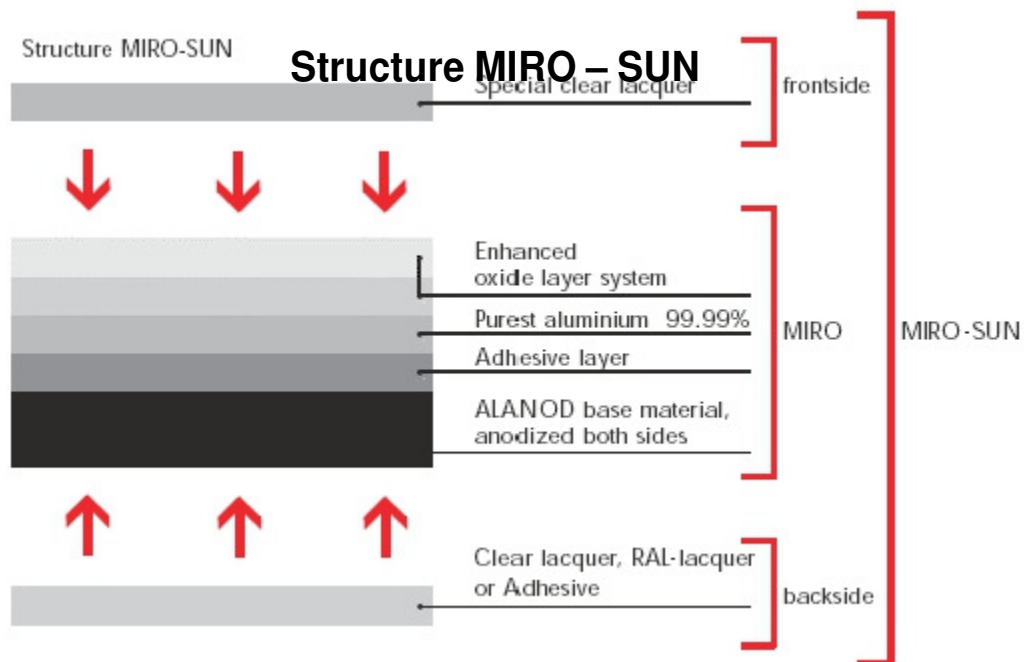
Production width : up to 1250 mm
Material thickness:
0.3 - 0.8 mm

Available in:

slit coil or sheets, with protective film

Optical values (DIN 5036-1 und -3):

Total light reflectance (ρ) = 93%
Solar reflectance (AM 1.5) = 89%
(spectral reflectance measurement see diagram).



Material Tests

Cross cut test 1 mm acc. to DIN EN ISO 2409 with Scotch-Tape 670 CFM	✓
Result: GT 0	
Bending around 2 mm - mandrel and with Scotch-Tape 670 CFM(material thickness 0.5 mm, standard strength H18, alloy Al 99.85)	✓
Result: no separation of composite	

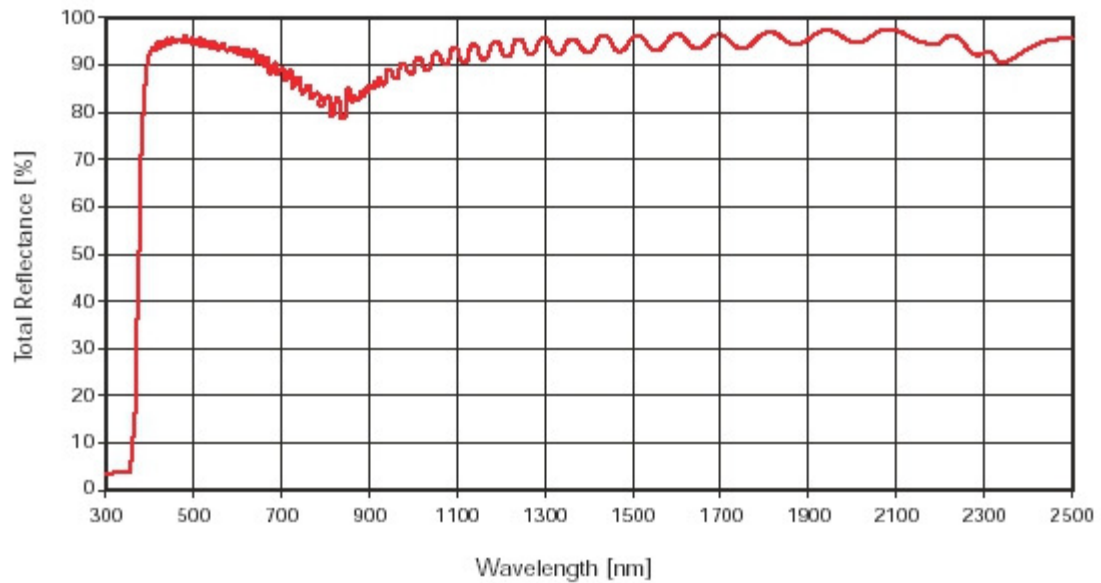
Composite adhesion :
Without temperature stressing

Resistance against Corrosion:

<p>Humidity test DIN 50 017 / 1000 h</p> <p>Result: no blistering</p> <p>no measurable change ($\pm 0.5\%$)</p> <p>of total light reflectance Rho (DIN 5036 - 3)</p>	✓
<p>Salt spray test DIN 50 021 - SS / 1000 h</p> <p>Result: Corrosion at scratch-point < 0.5 mm</p> <p>no edge-attack</p> <p>no measurable change ($\pm 0.5\%$)</p> <p>of total light reflectance Rho (DIN 5036 - 3)</p>	✓
<p>Acetic acid - Salt spray test DIN 50 021 - ASS / 1000 h</p> <p>Result: Corrosion at scratch-point 0.5 - 2 mm,</p> <p>Edge-attack 1.5 - 4.5 mm,</p> <p>no measurable change ($\pm 0.5\%$)</p> <p>of total light reflectance Rho (DIN 5036 - 3)</p>	✓
<p>Accelerated ageing test QUV - B 313 / 500 h</p> <p>Result: D E* ≤ 3 (within the instrument tolerance)</p> <p>no loss of brightness</p> <p>chalking < 10%.</p>	✓
<p>UV-C-resistance due to radiation by sterilization lamp</p> <p>(manufacturer: OSRAM, Typ: HNS10 W / U OFR, 4 W UV radiant power)</p> <p>Distance to tested object: 50 mm, duration: 96 h</p> <p>Result: Reduction of total light reflectance (Rho)</p> <p>by less than 1%, see diagram</p> <p>(for comparison only: reflector film: decrease by 3% in 48 h)</p>	✓

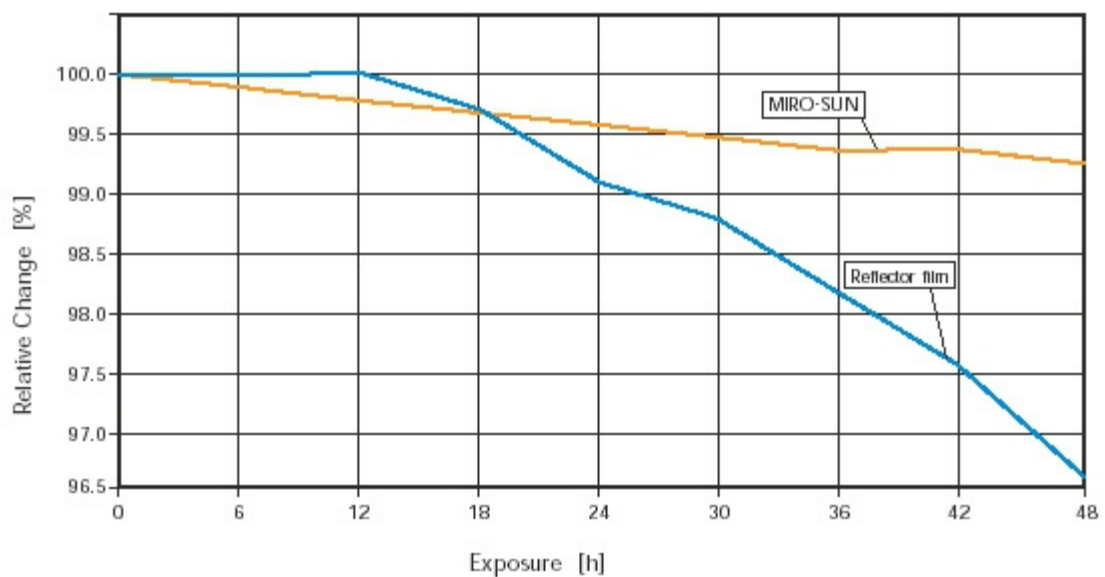
Please keep surface free from standing water!

Spectral Reflectance MIRO – SUN



Total-light-reflectance V (l) - weighted = 93.8%
 Solar total reflectance AM 1.5 weighted = 89.5%

Change of Total Light Reflectance under UV-Exposure



HOJA EXCEL POSICIÓN SOLAR

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN SOLAR

AUTOR: MANUEL ANTONIO LEANDRO REGUILLO

Población Alto Paraná

DATOS

Latitud	-25,00°
Longitud	-54,00°
Uso horario	-4,0 h
Adelanto hora invierno	1,0 h
Adelanto hora verano	2,0 h

Día 31-dic-12

SOLSTICIOS Y EQUINOCCIOS

Equinoccio de primavera	20/3/12 2:20
Solsticio de verano	20/6/12 21:34
Equinoccio de otoño	22/9/12 13:08
Solsticio de invierno	21/12/12 8:18

DATOS

Declinación	-23,06°
Ecuación del tiempo	4,0 min
Hora solar	RESTAR 0 h 39 min

Crepúsculo astronómico	4:21 AM
Crepúsculo náutico	4:53 AM
Crepúsculo civil	5:24 AM
Salida del sol	5:50 AM
Mediodía solar	12:39 PM
Puesta del sol	7:29 PM
Crepúsculo civil	7:55 PM
Crepúsculo náutico	8:26 PM
Crepúsculo astronómico	8:58 PM

Hora 12:39:58

DATOS

Hora solar	12:00 PM
Ángulo solar	0,00°
Elevación	88,06°
Acimut	0,00°

CROQUIS ESTRUCTURA COLECTOR EN 3D

